

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A04H0004

DÉCOLLAGE À PUISSANCE RÉDUITE ET COLLISION
AVEC LE RELIEF

DU BOEING 747-244SF 9G-MKJ
EXPLOITÉ PAR MK AIRLINES LIMITED
À L'AÉROPORT INTERNATIONAL DE HALIFAX
(NOUVELLE-ÉCOSSE)
LE 14 OCTOBRE 2004



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

Décollage à puissance réduite et collision avec le relief

du Boeing 747-244SF 9G-MKJ
exploité par MK Airlines Limited
à l'aéroport international de Halifax
(Nouvelle-Écosse)
le 14 octobre 2004

Rapport numéro A04H0004

Résumé

Le 14 octobre 2004, le Boeing 747-244SF exploité par MK Airlines Limited immatriculé 9G-MKJ, portant le numéro de série 22170, effectue un vol international non régulier de transport de fret entre Halifax (Nouvelle-Écosse) et Saragosse en Espagne. Vers 6 h 54, temps universel coordonné, soit 3 h 54, heure avancée de l'Atlantique, l'équipage du vol 1602 de MK Airlines Limited entreprend la course au décollage sur la piste 24 de l'aéroport international de Halifax. L'avion franchit l'extrémité de piste, parcourt 825 pieds supplémentaires, quitte le sol sur 325 pieds et percute un monticule de terre. La partie arrière de l'avion se sépare du fuselage. L'avion poursuit sa course en vol sur une distance de 1200 pieds avant de percuter le relief et de prendre feu. L'avion est détruit sous le choc et par le violent incendie qui s'est déclaré. Les sept membres d'équipage perdent la vie dans l'accident.

This report is also available in English.

© Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux 2006
N° de cat. TU3-5/04-2F
ISBN 0-662-72032-6

1.0	Renseignements de base	1
1.1	Déroulement du vol.....	1
1.2	Victimes	3
1.3	Dommmages à l'aéronef.....	3
1.4	Autres dommages	4
1.5	Renseignements sur le personnel	5
1.5.1	Généralités.....	5
1.5.2	Commandant de bord en fonction.....	6
1.5.3	Copilote en fonction.....	7
1.5.4	Mécanicien navigant en fonction	7
1.5.5	Responsable du chargement.....	7
1.5.6	Commandant de bord non en fonction.....	7
1.5.7	Mécanicien navigant non en fonction	8
1.5.8	Technicien au sol.....	8
1.6	Renseignements sur l'aéronef	8
1.6.1	Généralités.....	8
1.6.2	Masse et centrage	9
1.6.2.1	Masse à vide.....	9
1.6.2.2	Masse et centrage à l'aéroport international Bradley.....	9
1.6.2.3	Masse et centrage à l'aéroport international de Halifax.....	10
1.6.3	Puissance de décollage	11
1.6.4	Données de performance de l'avion.....	12
1.6.5	Contact de la queue de l'avion avec le sol	13
1.7	Renseignements météorologiques	13
1.8	Aides à la navigation	13
1.9	Télécommunications.....	13
1.10	Renseignements sur l'aérodrome	14
1.10.1	Généralités.....	14
1.10.2	Alimentation électrique de l'aéroport	14
1.10.3	Pente de la piste 24.....	15
1.10.4	Monticule de terre	16
1.10.5	Service automatique d'information de région terminale de Halifax	17
1.11	Enregistreurs de bord.....	18
1.11.1	Enregistreur de la parole dans le poste de pilotage	18
1.11.2	Enregistreur de données de vol	18
1.11.3	Pertes de données FDR.....	18
1.11.4	Événements enregistrés par le FDR lors du décollage à Halifax.....	19
1.11.5	Comparaison entre les décollages à Halifax et à Bradley.....	21
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	21
1.12.1	Renseignements sur l'impact.....	21
1.12.2	Examen de l'épave	24
1.13	Renseignements médicaux	26
1.14	Incendie	26
1.14.1	Généralités.....	26
1.14.2	Carte quadrillée	26
1.14.3	Radiocommunications.....	27
1.14.4	Centre de commandement.....	28

1.14.5	Occupants de l'avion et marchandises dangereuses à bord	28
1.15	Questions relatives à la survie des occupants.....	29
1.16	Essais et recherches.....	29
1.17	Renseignements sur les organismes.....	30
1.17.1	MK Airlines Limited.....	30
1.17.1.1	Généralités.....	30
1.17.1.2	Supervision et surveillance réglementaire des opérations aériennes.....	31
1.17.1.3	Programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes et de sécurité des vols.....	32
1.17.1.4	Formation et tests sur les avions de la compagnie.....	32
1.17.1.5	Pressions exercées sur les équipages.....	33
1.17.1.6	Pratiques de maintenance de la compagnie.....	34
1.17.2	La Ghana Civil Aviation Authority (GCAA).....	34
1.17.2.1	Généralités.....	34
1.17.2.2	Les <i>Ghana Civil Aviation Regulations</i> (GCAR).....	34
1.17.2.3	Surveillance des opérations aériennes par la Ghana Civil Aviation Authority.....	35
1.17.2.4	Surveillance de la navigabilité aérienne par la Ghana Civil Aviation Authority.....	35
1.17.3	Transports Canada.....	36
1.17.4	La Federal Aviation Administration des États-Unis.....	36
1.17.5	La Civil Aviation Authority du Royaume-Uni.....	37
1.18	Renseignements supplémentaires.....	38
1.18.1	Logiciel pour ordinateur portable de Boeing (BLT).....	38
1.18.1.1	Introduction.....	38
1.18.1.2	Formation des équipages de MK Airlines Limited à l'utilisation du BLT.....	39
1.18.1.3	Données de performance calculées par le BLT.....	41
1.18.1.4	Masse maximale autorisée au décollage à Halifax.....	41
1.18.1.5	Données de performance au décollage à Halifax calculées par le BLT.....	42
1.18.1.6	Données de performance au décollage à Bradley calculées par le BLT.....	42
1.18.1.7	Données de performance au décollage à Halifax calculées par le BLT à partir de la masse à Bradley.....	43
1.18.1.8	Données de performance à l'atterrissage à Halifax.....	43
1.18.1.9	Approbation réglementaire des systèmes informatisés de calcul des performances.....	44
1.18.2	Références paramétriques.....	45
1.18.2.1	Cartes des paramètres.....	45
1.18.2.2	Curseurs placés sur les instruments.....	46
1.18.2.3	Vérification des erreurs grossières.....	47
1.18.2.4	Feuilles de planification du chargement.....	48
1.18.3	Manuel d'exploitation de MK Airlines Limited.....	48
1.18.4	Procédures de préparation et de vérification des données de performance.....	49
1.18.5	Périodes de repos, temps de service et temps de vol.....	52
1.18.5.1	Périodes de repos, temps de service et temps de vol de MK Airlines Limited.....	52
1.18.5.2	Périodes de repos, temps de service et temps de vol prévus par d'autres autorités de l'aviation civile.....	53
1.18.5.3	Temps de service de l'équipage de MKA1602.....	54

1.18.5.4	Effets physiologiques de la fatigue.....	55
1.18.5.5	Gestion de la fatigue	56
1.18.6	Accidents et incidents antérieurs de MK Airlines Limited	57
1.18.7	Gestion des risques au sein d'une organisation.....	58
1.18.8	Accidents au décollage liés à des performances insuffisantes.....	59
2.0	Analyse.....	63
2.1	Introduction	63
2.2	Problèmes à l'aéroport international de Halifax	63
2.2.1	Alimentation électrique.....	63
2.2.2	Carte quadrillée.....	63
2.2.3	Occupants de l'avion et marchandises dangereuses à bord	64
2.2.4	Pente de la piste.....	64
2.2.5	Monticule de terre	64
2.2.6	Communications radio.....	65
2.3	Masse et centrage	65
2.4	MK Airlines Limited.....	65
2.4.1	Expansion de MK Airlines Limited	65
2.4.2	Périodes de repos, temps de service et temps de vol.....	66
2.4.3	Gestion des risques exercée par la compagnie MK Airlines Limited	67
2.4.4	Surveillance réglementaire des opérations de la compagnie.....	68
2.4.5	Introduction du logiciel pour ordinateur portable de Boeing dans la compagnie	68
2.5	Surveillance réglementaire de MK Airlines Limited	69
2.6	Données de performance au décollage à Halifax	69
2.7	Non-reconnaissance des performances insuffisantes au décollage	72
2.8	Résumé	73
3.0	Conclusions	75
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	75
3.2	Faits établis quant aux risques	76
3.3	Autres faits établis.....	77
4.0	Mesures de sécurité	79
4.1	Mesures prises	79
4.1.1	Avis de sécurité A040058-1	79
4.1.2	Avis de sécurité A040059-1	79
4.1.3	Mesures prises par la Ghana Civil Aviation Authority	80
4.1.4	Mesures prises par MK Airlines Limited.....	81
4.1.4.1	Avis aux équipages de conduite	81
4.1.4.2	Opérations aériennes	81
4.1.4.3	Formation	82
4.1.4.4	Certification de l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne.....	85
4.1.4.5	Navigabilité aérienne.....	86
4.1.5	Mesures prises par Boeing	87
4.1.6	Mesures prises par la Halifax International Airport Authority	87
4.1.7	Mesures prises par la Civil Aviation Authority (CAA) du Royaume-Uni	88

4.1.8	Mesures prises par la Federal Aviation Administration des États-Unis.....	88
4.2	Mesures à prendre	88
4.2.1	Système de surveillance des performances de décollage.....	88
4.3	Préoccupations liées à la sécurité.....	89
4.3.1	Objets artificiels se trouvant dans les prolongements de piste amont et aval...	89
4.3.2	Occupants de l'avion et marchandises dangereuses à bord	89

Annexes

Annexe A -	Comparaison des paramètres moteur enregistrés par le FDR à Bradley et à Halifax	93
Annexe B -	Comparaison des positions des gouvernes et des commandes de vol enregistrées par le FDR à Bradley et à Halifax.....	94
Annexe C -	Séquence de décollage.....	95
Annexe D -	Chronologie des événements	97
Annexe E -	Sigles et abréviations	101

Photos

Photo 1	Fuselage principal et moteur numéro 4.....	4
Photo 2	Emplacement du monticule de terre et des marques qui témoignent du contact répété avec le sol	20
Photo 3	Vue de la marque au sol et du point d'impact initial avec le monticule...	22
Photo 4	Assiette en cabré minimale de l'avion au point de contact avec le monticule.....	23
Photo 5	Répartition des débris	24
Photo 6	Indicateur EPR du moteur numéro 4.....	25
Photo 7	Configuration du pont supérieur	50
Photo 8	Poste de repos de l'équipage au niveau du pont supérieur	56

Figures

Figure 1	Emplacement du fret	10
Figure 2	Page du BLT pour le calcul des performances de décollage et d'atterrissage.....	38
Figure 3	Carte des paramètres de décollage de MK Airlines Limited	45
Figure 4	Carte en T de Boeing	46
Figure 5	Exemple de réglage des curseurs au décollage	46
Figure 6	Masse à l'aéroport international Bradley utilisée à l'aéroport international de Halifax.....	71

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroutement du vol

La série de vols de l'équipage a débuté le 13 octobre 2004 à l'aéroport de Luxembourg-Findel au Luxembourg où l'équipage a effectué le vol 1601 de MK Airlines Limited (MKA1601)¹ à destination de l'aéroport international Bradley, situé à Windsor Locks (Connecticut) aux États-Unis. Il a ensuite entrepris le vol 1602 de MK Airlines Limited (MKA1602) à partir de l'aéroport international Bradley à destination de l'aéroport international de Halifax (Nouvelle-Écosse). Toujours sous le numéro de vol MKA1602, l'avion devait ensuite se rendre à Saragosse en Espagne avant de revenir à Luxembourg.

Les vols étaient effectués par un équipage consolidé (*heavy crew*)², à savoir deux commandants de bord, un copilote et deux mécaniciens navigants. Un responsable du chargement et un technicien au sol étaient également à bord. Les membres d'équipage des vols MKA1601 et MKA1602 étaient arrivés à l'aéroport de Luxembourg-Findel à des dates et à des heures différentes. Le commandant de bord et le copilote du vol MKA1601 ainsi que le mécanicien navigant du vol MKA1602 avaient effectué un vol entre Nairobi au Kenya et l'aéroport de Luxembourg-Findel le 12 octobre. Le commandant de bord de MKA1602 et le mécanicien navigant de MKA1601 étaient arrivés à l'aéroport de Luxembourg-Findel le 12 octobre en provenance de Johannesburg en Afrique du Sud; il s'agissait de leur premier vol comme membres d'équipage de conduite après un congé de deux semaines. Le technicien au sol et le responsable du chargement étaient arrivés à l'aéroport de Luxembourg-Findel le 13 octobre comme membres d'équipage de l'avion immatriculé 9G MKJ.

L'heure de départ prévue de MKA1601 avait été fixée à 10 h, temps universel coordonné (UTC)³. À 8 h 48, juste avant que l'équipage ne quitte l'hôtel à Luxembourg, le commandant de bord de MKA1601 a reçu un appel téléphonique de l'agent de liaison du bureau d'escale de MK Airlines Limited à l'aéroport de Luxembourg-Findel le prévenant que le vol partirait en retard à cause de l'arrivée tardive de l'avion et de la préparation de dernière minute du fret.

Le commandant de bord, le copilote et le mécanicien navigant de MKA1601 ont quitté l'hôtel à 9 h 25. À 9 h 41, le commandant de bord a été avisé que le chargement de l'avion était en cours, et le commandant de bord, le copilote et le mécanicien navigant ont pris le chemin de l'aéroport. Le commandant de bord et le mécanicien navigant de MKA1602 ont quitté l'hôtel à 10 h 52 pour se rendre à l'aéroport.

À l'aéroport, le commandant de bord de MKA1601 a reçu la documentation de vol des mains de l'agent de liaison du bureau d'escale de l'aéroport de Luxembourg-Findel. La documentation avait été préparée par le centre des opérations de MK Airlines Limited situé à Landhurst (East Sussex) au Royaume-Uni. Elle comprenait la trousse de vol, les horaires, l'itinéraire, la

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

² La réglementation et les organismes internationaux utilisent davantage l'expression « équipage de conduite renforcé » (*augmented flight crew*).

³ Les heures sont exprimées en UTC.

météo, le plan de vol, la quantité de carburant prévue ainsi que la charge marchande prévue. Après avoir examiné la documentation de vol, le commandant de bord a demandé d'enlever 4000 kg de fret pour pouvoir prendre d'autre carburant. L'équipage a modifié la documentation de vol en conséquence.

Un nouveau retard est survenu quand le responsable du chargement a constaté qu'il y avait de la terre sur certaines palettes et qu'elles seraient refusées par les autorités à l'aéroport international Bradley. L'agent de liaison du bureau d'escale de MK Airlines Limited et le responsable du chargement se sont alors procurés un aspirateur pour nettoyer les palettes. Pour ne pas retarder indûment le vol, le responsable du chargement a emporté l'aspirateur à bord pour finir le nettoyage des palettes en cours de route. L'avion est parti à 15 h 56.

L'enquête a établi que c'est le copilote qui s'est occupé des communications avec le contrôle de la circulation aérienne (ATC) pendant le vol entre l'aéroport de Luxembourg-Findel et l'aéroport international Bradley, sauf pendant une période de trois heures où, d'après la voix, c'est un autre membre de l'équipage de conduite qui communiquait avec l'ATC. Le vol MKA1601 s'est posé à l'aéroport international Bradley à 23 h 22.

À l'aéroport international Bradley, le fret provenant de l'aéroport de Luxembourg-Findel a été déchargé au complet. Toutefois, le chargement du fret à l'aéroport international Bradley a duré plus longtemps que prévu à cause de problèmes de fonctionnement du dispositif de chargement du fret de l'avion. Après la relève du commandant de bord et du mécanicien navigant, MKA1602 a quitté l'aéroport international Bradley à destination de l'aéroport international de Halifax le 14 octobre à 4 h 3, avec un retard encore plus grand. Le commandant de bord de MKA1602 était le pilote chargé des communications avec l'ATC; le copilote était le pilote aux commandes (PF).

À 5 h 12, l'avion du vol MKA1602 s'est posé sur la piste 24 à l'aéroport international de Halifax, puis il a roulé jusqu'à l'aire de trafic. Une fois les moteurs coupés, le chargement de l'avion a débuté. Pendant le chargement, deux membres d'équipage de conduite de MK Airlines Limited ont été vus en train de dormir dans des sièges passagers installés au pont supérieur. Une fois le ravitaillement en carburant terminé, le technicien au sol a vérifié le panneau de ravitaillement en carburant et a signé le bon de carburant. L'avion avait pris 72 062 kg de carburant, ce qui donnait un chargement en carburant total de 89 400 kg. Le technicien au sol s'est ensuite rendu au pont principal pour aider au chargement du fret.

Une fois le chargement terminé, le superviseur de l'aire de trafic de l'agent de service d'escale est monté au pont supérieur pour récupérer les documents de vol et le fret de MKA1602. Pendant que le responsable du chargement remplissait la documentation, le superviseur de l'aire de trafic s'est rendu dans le poste de pilotage et a remarqué que le copilote n'était pas à sa place. Quelque 10 minutes plus tard, le superviseur de l'aire de trafic a quitté l'avion en emportant la documentation avec lui. À 6 h 47, l'équipage de conduite a commencé la circulation au sol pour aller positionner l'avion sur la piste 24 et, à 6 h 53, la course au décollage a débuté. (Voir 1.11.4 pour connaître la chronologie détaillée des événements au décollage.)

Au moment de la rotation, il y a eu un bref contact de la partie inférieure du fuselage arrière avec la piste. Quelques secondes plus tard, il y a eu un second contact, plus violent cette fois-ci, de la partie inférieure du fuselage arrière avec la piste. L'avion a poursuivi sa course au sol et a

finaleme nt quitté le sol 825 pieds après l'extrémité de piste. Après avoir quitté le sol, il a volé sur 325 pieds, puis la partie inférieure du fuselage arrière a percuté un monticule de terre où était fixée une antenne du radiophare d'alignement de piste du système d'atterrissage aux instruments (ILS). La partie arrière de l'avion s'est détachée du fuselage sous le choc, et le reste de l'appareil a poursuivi sa course en vol sur 1200 pieds avant de percuter le relief et de prendre feu. L'impact final s'est produit par 44° 52' 51" de latitude Nord et 063° 30' 31" de longitude Ouest, à quelque 2500 pieds au-delà de l'extrémité départ de la piste 24, à une hauteur de 403 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl). L'avion a été détruit par le choc et par l'incendie qui a suivi. Tous les occupants de l'avion, soit les sept membres d'équipage, ont perdu la vie dans l'accident.

1.2 *Victimes*

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	7	-	-	7
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/Indemnes	-	-	-	-
Total	7	-	-	7

1.3 *Dom mages à l'aéronef*

Les premiers dommages à l'aéronef sont survenus à la rotation lorsque la partie inférieure du fuselage arrière de l'avion est entré en contact avec la piste à deux reprises et que l'avion a poursuivi sa course au sol jusqu'à un point situé à 825 pieds au-delà de l'extrémité de la piste 24. L'avion a subi de lourds dommages lorsque la partie inférieure du fuselage arrière a percuté le monticule. La dérive et les deux stabilisateurs se sont alors détachés du fuselage. L'impact final s'est produit dans une zone boisée. Le violent incendie qui s'est déclaré après l'accident a détruit le reste de la structure en avant de la cloison étanche arrière de l'avion (Photo 1).



Photo 1. Fuselage principal et moteur numéro 4

1.4 *Autres dommages*

L'herbe a été arrachée dans la partie située au-delà de la piste, là où le fuselage arrière a raclé le sol; de plus, un certain nombre de feux d'approche de la piste 06 ont été détruits. La structure de l'antenne du radiophare d'alignement de piste de l'ILS a été lourdement endommagée lorsque l'avion a percuté le monticule. Des lignes électriques et téléphoniques à proximité du lieu principal de l'accident ont été sectionnées juste avant l'impact final. La région boisée environnante a été lourdement endommagée par l'incendie qui s'est déclaré après l'accident. Du carburant non brûlé a contaminé le sol dans la région immédiate du lieu de l'accident, ce qui a nécessité d'importantes opérations de dépollution.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Généralités

L'équipage en fonction de MKA1602 se composait d'un commandant de bord, d'un copilote et d'un mécanicien navigant. Le commandant de bord et le mécanicien navigant de MKA1601, ainsi qu'un technicien au sol et un responsable du chargement, se trouvaient également à bord.

	Équipage de conduite en fonction		
	Commandant de bord	Copilote	Mécanicien navigant
Licence	Pilote de ligne	Pilote de ligne	Mécanicien navigant
Date d'expiration du certificat de validation	1 ^{er} juillet 2005	17 août 2005	13 août 2005
Heures de vol totales	23 200	8537	2000
Heures de vol dans les 90 derniers jours	254	245	186
Heures de vol sur type dans les 90 derniers jours	254	245	186
Heures libres avant la prise de service	29	17	17

	Équipage de conduite non en fonction			
	Commandant de bord	Mécanicien navigant	Technicien au sol	Responsable du chargement
Licence	Pilote de ligne	Mécanicien navigant	Maintenance	Non exigée
Date d'expiration du certificat de validation	15 juillet 2005	27 janvier 2005	Non exigé	Non exigé
Heures de vol totales	6000	1991	Inconnues	Inconnues
Heures de vol dans les 90 derniers jours	171	202	Inconnues	421
Heures de vol sur type dans les 90 derniers jours	171	202	Inconnues	Inconnues

1.5.2 Commandant de bord en fonction

Le pilote aux commandes (commandant de bord en fonction) de MKA1602 était titulaire d'une licence de pilote de ligne du Ghana et d'une qualification de vol aux instruments en état de validité. Il était qualifié et certifié conformément aux *Ghana Civil Aviation Regulations (GCAR)*. Sa licence indiquait qu'il devait porter des verres correcteurs pour sa vision de près et avoir à sa disposition une seconde paire de verres correcteurs pour exercer les privilèges de sa licence. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités pendant le vol.

Le commandant de bord travaillait pour la compagnie depuis qu'elle avait ouvert ses portes. Il avait commencé à piloter le McDonnell Douglas DC-8 chez MK Airlines Limited en 1990. Il avait fait partie d'un des premiers groupes de pilotes de la compagnie à passer sur Boeing 747-200 (B747). En 1999, au terme d'une formation au Pan Am Training Center à Miami (Floride), il avait obtenu sa qualification de type sur B747 délivrée par la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis. Il totalisait quelque 4000 heures de vol sur B747.

En 2000, la compagnie a modifié ses procédures d'utilisation normalisées (SOP) du B747 et a demandé à tous ses mécaniciens navigants et pilotes de B747 de suivre une formation additionnelle. Pendant la formation, le commandant de bord avait eu du mal à composer avec les nouvelles SOP et sa formation avait été suspendue. Après deux semaines de révision et d'étude, le commandant de bord avait repris la formation et avait terminé le cours sans autre problème. Les dossiers indiquent que les pilotes superviseurs lui avaient signalé qu'il ne respectait pas les SOP; toutefois, dans la période ayant précédé l'accident, il s'était beaucoup amélioré.

Le commandant de bord faisait confiance aux membres d'équipage et les laissait accomplir leurs tâches avec peu de supervision. Il n'était pas à l'aise avec les ordinateurs personnels et les logiciels, comme le logiciel pour ordinateur portable de Boeing (BLT) (voir 1.18.1). Il était plus à l'aise avec les méthodes manuelles de calcul des performances, comme celles qui font appel aux tableaux d'analyse de piste⁴ ou au volume 2⁵ du manuel de vol de l'avion. En général, ceux qui ont volé avec le commandant de bord l'ont décrit comme un pilote compétent. Il était respecté et savait faire preuve d'autorité à bord, même s'il préférait travailler de façon plus décontractée.

⁴ Les tableaux d'analyse de piste sont des documents de référence sur papier à bord des avions. Ils servent à calculer les performances de décollage propres à une piste d'un aéroport spécifique. Ils permettent au pilote d'obtenir des paramètres de décollage qui tiennent compte des conditions atmosphériques, de l'état de la piste et des obstacles qui se trouvent sur la trajectoire de vol au décollage.

⁵ Le volume 2 contient des graphiques, des tableaux et des diagrammes qui servent à calculer les données de performance de l'avion. Il contient également un index d'une page qui permet de calculer rapidement les vitesses de décollage. Cet index ne donne aucun renseignement sur le franchissement des obstacles.

1.5.3 *Copilote en fonction*

Le copilote était titulaire d'une licence de pilote de ligne du Ghana et d'une qualification de vol aux instruments en état de validité. Il était qualifié et certifié conformément aux GCAR. Son dernier examen médical remontait au 17 août 2004 et n'avait donné lieu à aucune annotation sur sa licence, même si les dossiers médicaux indiquent que le copilote portait des verres correcteurs au moment de l'examen de la vue. Ses évaluations médicales antérieures indiquent qu'il devait porter des verres correcteurs pour sa vision de loin et avoir à sa disposition une seconde paire de verres correcteurs pour exercer les privilèges de sa licence. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités.

Selon l'information recueillie, le copilote était un pilote compétent et il était à l'aise avec les ordinateurs personnels. Du fait qu'il était le seul copilote pendant toute la série de vols, il devait s'attendre à être un membre d'équipage actif en service dans le poste de pilotage pour la totalité des décollages, des départs, des arrivées et des atterrissages de la série de vols.

1.5.4 *Mécanicien navigant en fonction*

La licence du mécanicien navigant était valide jusqu'au 12 août 2005 et était annotée pour le B747. Il était qualifié et certifié conformément aux GCAR. Son dernier examen médical remontait au 13 août 2004. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités.

1.5.5 *Responsable du chargement*

Le responsable du chargement possédait la formation et les qualifications nécessaires conformément aux normes de la compagnie. Aucun examen médical n'était nécessaire pour la délivrance de sa licence, mais il avait subi un examen médical de la compagnie le 16 septembre 2000 et il avait été jugé apte à exercer ses fonctions. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités. Il totalisait 421 heures de vol sur des avions de MK Airlines Limited dans les 90 derniers jours.

1.5.6 *Commandant de bord non en fonction*

Le commandant de bord non en fonction était titulaire d'une licence de pilote de ligne du Ghana et d'une qualification de vol aux instruments en état de validité. Il était qualifié et certifié conformément aux GCAR. En vertu de sa licence, il devait porter des verres correcteurs. Son dernier examen médical avait eu lieu le 15 juillet 2004, et il avait été déclaré apte. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités. Il avait été le commandant de bord du vol entre l'aéroport de Luxembourg-Findel et l'aéroport international Bradley.

1.5.7 Mécanicien navigant non en fonction

Le mécanicien navigant non en fonction était titulaire d'une licence valide jusqu'au 26 janvier 2005 qui était annotée pour le B747. Il était qualifié et certifié conformément aux GCAR et sa dernière visite médicale remontait au 27 janvier 2004. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités.

1.5.8 Technicien au sol

Le technicien au sol était titulaire d'une licence de maintenance ghanéenne annotée pour le B747. Il n'était pas tenu de passer un examen médical en vue de l'obtention de sa licence. Au cours de son dernier examen médical de compagnie, il avait été déclaré apte. Rien n'indique qu'un problème médical préexistant ou des facteurs physiologiques aient perturbé ses capacités.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Généralités

Constructeur	The Boeing Company
Type et modèle	B747-244SF ⁶
Année de construction	1980
Numéro de série	22170
Certificat de navigabilité	Délivré le 3 mai 2004 et valide jusqu'au 2 mai 2005
Nombre d'heures cellule / Nombre de cycles de la cellule	80 619 heures/16 368 cycles
Moteurs	4 moteurs Pratt & Whitney JT9D-7Q
Masse maximale autorisée au décollage	377 842 kg
Types de carburant recommandés	Jet A et Jet A-1
Type de carburant utilisé	Jet A-1

Le 8 octobre 2004, les moteurs 2 et 3 avaient été remplacés. À des réglages de puissance réduite, les manettes des gaz des moteurs 2 et 3 étaient fortement décalées par rapport à celles des moteurs 1 et 4. Cette anomalie avait été inscrite dans le carnet de bord de l'avion.

⁶ L'avion avait été construit comme un B747BC cargo de type combi (passagers/fret) avant d'être converti en B747SF (avion cargo) en 1995.

1.6.2 Masse et centrage

1.6.2.1 Masse à vide

Les plus récents calculs de masse et centrage de l'avion immatriculé 9G-MKJ avaient été effectués à Jakarta en Indonésie le 18 septembre 2004 après une vérification de type C. Un examen du document intitulé « *Aircraft Weight and C.G. Determination* » (Établissement de la masse et du centrage) du 9G-MKJ produit par Garuda Maintenance Facilities (GMF) AeroAsia, qui fait partie du Garuda Indonesia Group, montrait que l'avion avait une masse à vide de base de 157 977,5 kg et un centre de gravité à vide situé à 32,50 % de la corde aérodynamique moyenne (MAC).

Un examen du duplicata de la page sommaire de masse et centrage tirée du logiciel BLT de l'avion immatriculé 9G MKJ a révélé que la masse opérationnelle à vide⁷ était de 157 977 kg; il s'agissait en fait de la masse à vide de base de l'avion. Le BLT indiquait également que le bras du centre de gravité à vide se situait à 32,3 % de la MAC, un résultat qui variait légèrement par rapport au document « *Aircraft Weight and C.G. Determination* » du 9G-MKJ préparé par GMF AeroAsia, lequel indiquait 32,50 % de la MAC.

L'avion transportait une trousse de rechange (aussi appelée trousse de bord). Cette trousse contenait des pièces de rechange pour l'avion et de l'outillage aéronautique. D'après MK Airlines Limited, la masse de cette trousse devait être de l'ordre de 800 kg. L'avion transportait également quelque 50 kg de commissariat de bord à l'intention des membres d'équipage. MK Airlines Limited se servait des chiffres standard, à savoir 270 kg, pour établir la masse de l'équipage de conduite. Aucune des masses indiquées ci-dessus, lesquelles totalisaient 1120 kg, n'avait été incluse dans la masse opérationnelle à vide entrée dans le BLT ni dans le devis de masse et centrage utilisé pour calculer la masse au décollage de l'avion.

1.6.2.2 Masse et centrage à l'aéroport international Bradley

Des blocs d'entraînement servant à déplacer le fret avaient été déposés de l'avion, car ils étaient inutilisables, et l'espace dégagé avait été colmaté. Parmi le fret à transporter, il y avait un gros rouleau d'acier placé sur une palette longue de 20 pieds dont la masse totale s'élevait à 13 206 kg. Une fois le rouleau d'acier chargé à bord de l'avion, il n'a pu être déplacé par les dispositifs de chargement du fret que tant et aussi longtemps que les blocs d'entraînement

⁷ Le *BLT Administrator's Guide* (guide de l'administrateur du BLT) définit, à la page 40, la masse opérationnelle à vide comme la masse que doit généralement avoir l'avion en exploitation normale, telle la masse de l'équipage plus celle tirée d'une pesée de l'avion.

utilisables ont permis de le faire. Normalement, les palettes peuvent être mises en place manuellement lorsque les blocs d'entraînement sont inutilisables, mais il a fallu placer la palette aux positions LR et MR en raison de sa masse (Figure 1).

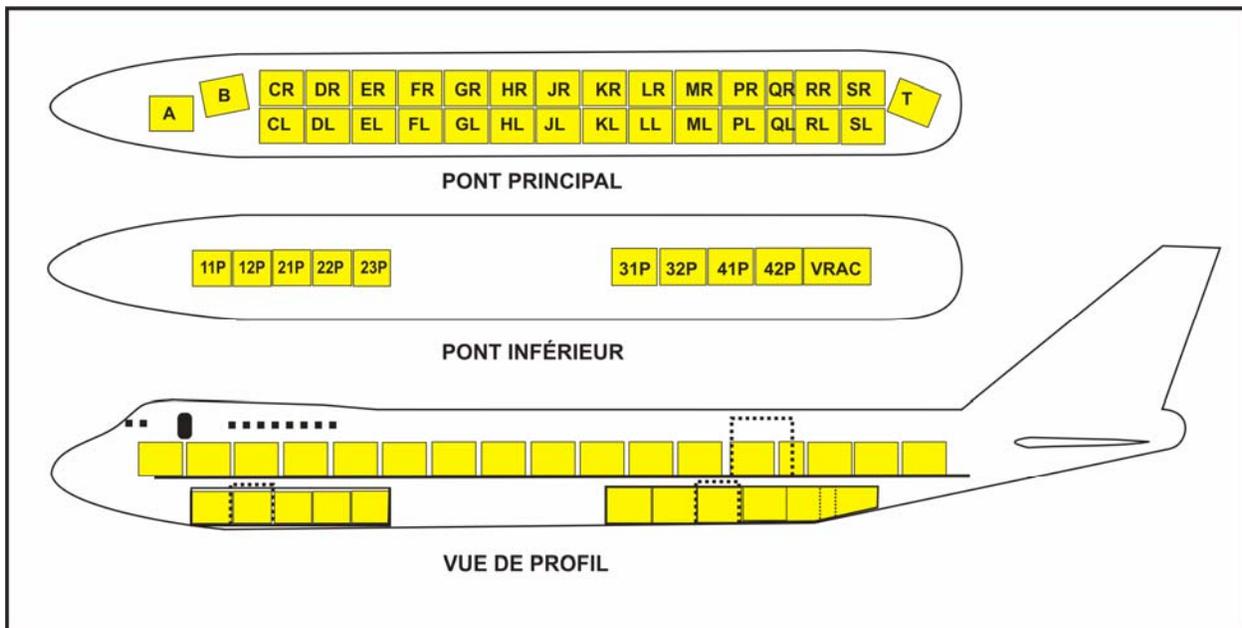


Figure 1. Emplacement du fret

Les masses limites attribuées aux positions LR et MR sont de 4264 kg chacune, ce qui donne une masse limite totale de 8528 kg. La masse du rouleau d'acier et de la palette dépassait de 4678 kg la limite permise. D'après le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited, au chapitre 8 de la partie A, [Traduction] « le responsable du chargement ou le commandant de bord doivent respecter les limites structurales additionnelles précisées dans le manuel de chargement pour la masse maximale de chaque compartiment de fret ». Si tous les blocs d'entraînement avaient été utilisables, le rouleau d'acier aurait pu être placé correctement aux positions HR et JR, là où la limite était de 13 608 kg.

En plus du fret chargé à l'aéroport international Bradley, l'avion a pris 5921 gallons américains de carburant Jet A. La masse au décollage à l'aéroport international Bradley était de 239 783 kg avec une MAC de 25 % et un réglage de compensation des stabilisateurs à 4,0 unités. Le déséquilibre latéral était de 18 248 kg, ce qui se trouvait dans les limites permises. Compte tenu de la masse de l'avion, le centre de gravité se trouvait dans les limites fixées entre 13 et 35 % de la MAC.

1.6.2.3 Masse et centrage à l'aéroport international de Halifax

Le fret chargé à l'aéroport international de Halifax se composait de 18 palettes. Le 13 octobre 2004, un transitaire local avait livré ces palettes à l'agent de manutention du fret de MK Airlines Limited à l'aéroport international de Halifax. Chaque palette était constituée de centaines de caisses individuelles en styromousse remplies de fruits de mer frais. Les caisses étaient placées sur des traîneaux en bois et elles étaient retenues par un filet de fret. En prévision du vol, l'agence de manutention du fret avait préparé une feuille de calcul du

manifeste de chargement en prenant la masse brute de chaque palette indiquée sur les manifestes de chargement fournis par le transitaire local et en y ajoutant une tare de 130 kg pour tenir compte de la masse de la palette et du filet, ce qui donnait la masse unitaire totale par palette. Au total, il y avait 86 traîneaux en bois sur lesquels étaient placées les caisses de fruits de mer frais sur les palettes. La masse de ces traîneaux en bois n'a pas été prise en compte dans la masse totale des palettes de fret fournie par le transitaire local ni dans la feuille de calcul du manifeste de chargement. En général, de tels traîneaux en bois pèsent entre 20 et 25 kg, ce qui veut dire qu'une masse supplémentaire comprise entre 1900 et 2000 kg ne figurait pas sur le manifeste de chargement. Le transitaire local n'a pas pesé les palettes complètes, et l'agent de manutention du fret à l'aéroport international de Halifax ne disposait des installations nécessaires pour peser les palettes de fret complètes qui étaient fournies par d'autres.

En plus du fret chargé à l'aéroport international de Halifax, l'avion a pris 88 637 litres de carburant Jet A-1. Le devis de masse et centrage laissé par l'équipage de conduite de MKA1602 à son départ de l'aéroport international de Halifax indiquait une masse totale de carburant de 90 000 kg à la mise en route, une masse au décollage de 350 698 kg avec une MAC de 23 % et un réglage de compensation à 5,8 unités. Le déséquilibre latéral était de 88 kg. Compte tenu de la masse de l'avion, le centre de gravité se trouvait à l'intérieur des limites permises. La documentation préparée par la compagnie en prévision du vol indiquait une masse minimale de carburant de 86 690 kg et un chargement prévu de 109 920 kg pour une masse prévue au décollage de 353 310 kg.

Si l'on ajoute à la masse de 350 698 kg calculée par l'équipage, la masse des traîneaux en bois (2000 kg) et la masse combinée de la trousse de bord, du commissariat de bord et des membres d'équipage de conduite (1120 kg), cela donne une masse réelle d'environ 353 800 kg.

1.6.3 *Puissance de décollage*

À l'origine en 1971, le B747-200 avait été certifié avec des moteurs JT9D-7 qui avaient une poussée maximale de 46 300 livres sans injection d'eau et de 47 900 livres avec injection d'eau⁸ au décollage. En 1979, le moteur JT9D-7Q a été certifié en vue de son utilisation sur le B747-200. Il possède une puissance maximale de 53 000 livres, et c'est ce type de moteur qui équipait l'avion immatriculé 9G MKJ.

La puissance maximale disponible d'un moteur est fonction de la densité de l'air (altitude-pression et température de l'air) dans laquelle le moteur évolue. La puissance maximale qui peut être utilisée au décollage figure dans le manuel de vol approuvé et, avant chaque décollage, l'équipage de conduite doit calculer les réglages de puissance des moteurs pour obtenir la poussée maximale. Pour prolonger la durée de vie utile des moteurs, la pratique veut qu'on utilise au décollage une poussée détarée ou réduite, ou encore une combinaison des deux, lorsque la poussée maximale n'est pas nécessaire, soit parce que la piste est longue, soit parce que l'avion est peu chargé.

⁸ Avec l'injection d'eau, l'effet refroidissant de l'eau sur le moteur se traduit par une prolongation de la durée de vie utile des composants du moteur, ce qui permet à l'exploitant d'augmenter la poussée.

La poussée détarée correspond à un niveau de poussée au décollage inférieur à la poussée maximale et fait l'objet, dans le manuel de vol, d'un ensemble distinct de limitations et de données de performance. L'avion immatriculé 9G MKJ avait une poussée détarée de 46 300 livres (moteur JT9D-7 sans injection d'eau), appelée « *Rating II (RTG II)* » dans la documentation de MK Airlines Limited. La poussée réduite au décollage peut être jusqu'à 25 % inférieure à la poussée détarée ou maximale de décollage. L'utilisation de la poussée réduite n'est pas contraignante en ce sens que l'équipage de conduite peut utiliser la puissance maximale à tout moment pendant le décollage.

D'après le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited, il faut, pour afficher la poussée de décollage, pousser sur les manettes des gaz de manière à obtenir un rapport de pression moteur (EPR)⁹ de 1,10, vérifier que les indications moteur sont stables et symétriques, puis pousser sur les manettes des gaz jusqu'à l'obtention d'un EPR de 1,20 environ et demander au mécanicien navigant d'afficher la puissance maximale¹⁰.

1.6.4 Données de performance de l'avion

D'après la section 4 Performances du manuel de vol du B747, l'avion décroche à 133 KCAS (vitesse corrigée en nœuds) avec les volets sortis à 20°, à la puissance de ralenti et à une masse de 353 800 kg. La vitesse de décrochage se fonde sur un avion en vol et hors de l'effet de sol. La vitesse minimale de décollage (V_{MU})¹¹ prévue, compte tenu de la configuration à l'aéroport international de Halifax devait être d'environ 150 ± 2 KCAS. Le B747 possède un dispositif avertisseur de décrochage en cas de rotation excessive qui déclenche un vibreur de manche au décollage si le taux ou l'angle de rotation est excessif. Ce dispositif est désactivé dès qu'un train fuselage quitte la piste. Deux dispositifs avertisseurs de décrochage sont activés lorsque le train avant quitte la piste. Le vibreur de manche ne faisait pas partie des paramètres enregistrés par l'enregistreur de données de vol (FDR).

D'après le manuel de vol du B747, compte tenu de l'altitude-pression et de la température qui régnaient à l'aéroport international de Halifax au moment du décollage, un EPR de 1,60 était nécessaire pour afficher la poussée maximale, avec une réduction maximale de l'EPR de 0,21 permettant d'afficher la poussée réduite. La poussée détarée maximale exigeait un EPR de 1,43, avec une réduction maximale de l'EPR de 0,14 permettant d'afficher la poussée réduite.

⁹ La poussée produite par les moteurs JT9D est indiquée dans le poste de pilotage sous la forme d'un EPR, lequel est le rapport entre la pression de l'air pénétrant dans l'entrée d'air et la pression de sortie au niveau de la tuyère d'éjection du moteur.

¹⁰ Les procédures de MK Airlines Limited exigent d'afficher systématiquement la puissance maximale au décollage, même si on doit utiliser une poussée détarée ou réduite.

¹¹ V_{MU} est la vitesse corrigée à partir de laquelle l'avion peut quitter le sol en toute sécurité et poursuivre le décollage.

La puissance de montée lors du décollage ayant mené à l'accident a été tirée de l'index des procédures (QRH) de MK Airlines Limited et correspondait à un EPR de 1,33. Lors d'un décollage à puissance réduite, certains pilotes de MK Airlines Limited avaient l'habitude d'afficher l'EPR de montée plutôt que celui de décollage si l'EPR de montée était plus élevé. D'après le QRH, la poussée lors d'une remise des gaz exigeait un EPR de 1,52.

1.6.5 *Contact de la queue de l'avion avec le sol*

D'après le constructeur de l'avion, la partie inférieure du fuselage arrière du B747-200 entre en contact avec le sol à un angle de cabré de 11,1° lorsque les amortisseurs des trains fuselage sont comprimés, et à un angle de cabré de 13,1° lorsque les trains fuselage ont pris une inclinaison maximale et que leurs amortisseurs sont entièrement détendus. Le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited indique que l'on vise normalement une assiette en cabré de 12° à la rotation, à une cadence de 2 à 3° par seconde; le déjaugage devrait se faire à un angle de cabré d'environ 10°. Le constructeur a déterminé que, pour chaque tranche de 5 nœuds au-dessous de la vitesse de rotation (V_r)¹², il faut augmenter l'angle d'attaque de 1° pour obtenir une portance équivalente au moment de la rotation.

1.7 *Renseignements météorologiques*

À 6 h, les conditions météorologiques qui prévalaient à l'aéroport international de Halifax étaient les suivantes : vent du 250 °V à 5 nœuds, visibilité de 15 sm, ciel couvert à 1700 pieds agl, température de 10 °C, point de rosée de 9 °C et calage altimétrique de 29,67 pouces de mercure (po Hg). Les conditions météorologiques signalées à 7 h étaient les suivantes : vent du 260 °V à 6 nœuds, visibilité de 15 sm, ciel couvert à 1800 pieds agl, température de 10 °C, point de rosée de 9 °C et calage altimétrique de 29,67 po Hg. Les prévisions d'aérodrome pour l'aéroport de Halifax correspondaient aux conditions météo réelles.

1.8 *Aides à la navigation*

Au moment de l'accident, l'équipage effectuait le décollage à l'aide de références visuelles et ne se servait pas des aides à la navigation au sol. L'enquête a établi que les aides à la navigation ne présentaient aucune anomalie.

1.9 *Télécommunications*

Toutes les télécommunications entre les contrôleurs de l'aéroport international de Halifax et l'équipage du vol MKA1602 ont été normales, et il n'y a eu aucun écart par rapport aux procédures publiées. Il y a toutefois eu quelques problèmes avec les communications des services de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs (SLIA) (voir 1.14.3).

¹² La vitesse de rotation est la vitesse à laquelle le pilote commence à tirer sur le manche pour faire cabrer l'avion.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

1.10.1 Généralités

L'aéroport international de Halifax est situé à 44° 52,85' de latitude Nord et 063° 30,52' de longitude Ouest. L'altitude de l'aérodrome est de 477 pieds. Il s'agit d'un aérodrome certifié exploité par la Halifax International Airport Authority (HIAA) (administration de l'aéroport international de Halifax). Il est situé sur des terrains loués à Transports Canada. La piste 24 était en service au moment de l'accident. La piste 24 est orientée au 234 °M et sa surface est recouverte d'asphalte et de béton. Elle mesure 8800 pieds de longueur sur 200 pieds de largeur. Elle a une distance de roulement utilisable au décollage (TORA) publiée de 8800 pieds et un prolongement dégagé de 1000 pieds, ce qui donne une distance de décollage utilisable (TODA) de 9800 pieds.

1.10.2 Alimentation électrique de l'aéroport

Juste avant l'impact, l'avion a sectionné un câble électrique et plusieurs câbles téléphoniques desservant l'aéroport. Lorsque le câble électrique a été sectionné, quatre groupes électrogènes diesel à démarrage automatique prévus pour assurer une alimentation électrique de secours en cas de panne du réseau électrique de l'aéroport se sont mis en marche. Le réseau électrique de l'aéroport a été alimenté par trois des groupes électrogènes; toutefois, un disjoncteur s'est ouvert à cause d'une saute de puissance qui s'est produite quand l'avion a sectionné des câbles électriques près du lieu principal de l'accident, si bien que le quatrième groupe n'a pu alimenter le réseau. Environ une heure après l'accident, le quatrième groupe a pu commencer à fournir de l'électricité, après que le disjoncteur a été réenclenché manuellement par le personnel technique. La tour de contrôle de l'aéroport international de Halifax est dotée d'un système d'alimentation sans coupure fixe et d'un groupe électrogène de secours indépendant, ce qui a permis à la tour d'être constamment alimentée en électricité.

Le poste d'incendie de l'aéroport international de Halifax devait normalement recevoir son alimentation électrique de secours de deux des quatre groupes électrogènes mentionnés précédemment. Le groupe dont le disjoncteur s'est ouvert devait alimenter un relais permettant de faire fonctionner les systèmes suivants du poste d'incendie : l'éclairage du dortoir, l'éclairage du garage et le dispositif d'ouverture automatique des portes du garage. Ces systèmes ne fonctionnant pas, les pompiers ont dû se préparer à intervenir dans l'obscurité et il a fallu ouvrir les portes du garage manuellement en appuyant sur le bouton commandant l'ouverture de chaque porte. Les moteurs électriques des portes étant alimentés par l'un des groupes électrogènes qui fonctionnaient, les portes se sont ouvertes. L'éclairage du garage du poste d'incendie est assuré par des « lampes à vapeur de sodium haute pression » qui mettent une dizaine de minutes à atteindre leur brillance maximale. Ce type d'éclairage ne permet pas de faire une intervention rapide.

Si le quatrième groupe électrogène avait fonctionné comme prévu, les lampes du dortoir se seraient allumées au bout de 25 à 30 secondes, le temps que le groupe atteigne sa pleine charge. Le poste d'incendie avait déjà été équipé de lampes à batterie incorporée, mais celles-ci avaient été enlevées au moment de l'installation des groupes électrogènes de secours.

1.10.3 Pente de la piste 24

En 2002, Transports Canada avait demandé à NAV CANADA¹³ de publier dans le *Supplément de vol – Canada* et dans le *Canada Air Pilot* une pente descendante de 0,17 % pour la piste 24 de l'aéroport international de Halifax. La section 3.1.2.1 de la publication de Transports Canada intitulée *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312) décrit comment calculer la pente d'une piste. À l'aide de cette publication, les enquêteurs du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) ont établi que la piste 24 avait une pente ascendante de 0,19 %. Cette erreur dans le sens et l'amplitude de la pente n'a pas été décelée par le personnel de NAV CANADA avant la publication de cette information, et l'erreur n'a pas été décelée non plus lors des examens ultérieurs de ces publications par l'exploitant de l'aéroport.

Aucune norme ne régit la publication des pentes ou des changements de pente des pistes des aéroports canadiens. La documentation de NAV CANADA indique uniquement qu'une pente inférieure à 0,3 % n'est pas publiée.

La pente de la piste 24 change à plusieurs reprises. Les variations les plus importantes se situent entre le seuil de piste et le point culminant de la piste situé à 6975 pieds du seuil. Cette partie présente une pente ascendante de 0,24 %. Sur les 1825 pieds qui restent, il y a une pente descendante de 0,55 %. Dans l'ensemble, la piste présente une pente ascendante de 0,079 %.

Un examen des publications aéronautiques non canadiennes mises à la disposition des équipages de conduite a mis en évidence des renseignements contradictoires. Une de ces publications ne donne aucun renseignement sur la pente de la piste 24. Une deuxième donne des renseignements exacts quant à l'amplitude et au sens. Une troisième décrit la pente de la piste 24 en deux segments. Les renseignements sur la piste 24 stockés dans le BLT ont été importés le 19 septembre 2003 à 9 h 52 à partir de données de la SITA¹⁴. L'information indiquait que la piste 24 présentait une pente ascendante de 0,08 % et était longue de 8800 pieds, avec un prolongement de piste en dur de 150 pieds.

À la troisième partie de l'appendice 1 de son Annexe 15, Services d'information aéronautique, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) précise que la description détaillée des caractéristiques physiques de chaque piste doit comprendre des renseignements sur la pente de la piste et des prolongements d'arrêt correspondants. Le chapitre 2 de l'Annexe 4 de l'OACI, Cartes aéronautiques, indique notamment ceci au paragraphe 2.17.1 : « De plus, les États veilleront à ce que des procédures aient été établies pour assurer à tout moment la traçabilité des données aéronautiques jusqu'à leur origine, de manière à permettre la correction des anomalies ou des erreurs décelées pendant les phases de production et d'entretien des données ou pendant leur utilisation opérationnelle. » Le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) stipule que « l'exploitant d'un aéroport doit examiner, dès sa réception, chaque nouvelle édition des publications d'information aéronautique et aviser le ministre des Transports, immédiatement après l'examen, de toute inexactitude contenue dans les renseignements concernant l'aéroport en question. »

¹³ NAV CANADA est responsable de la fourniture des services d'information aéronautique au Canada, y compris les renseignements concernant la pente des pistes.

¹⁴ SITA : Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques

1.10.4 Monticule de terre

Un monticule de terre surmonté d'une dalle en béton servant à l'ancrage de l'antenne du radiophare d'alignement de piste était situé à 1150 pieds de l'extrémité de la piste 24, et dans le prolongement d'axe de piste (photos 2, 3 et 4). Ce monticule avait été érigé durant l'automne 2003 pour permettre d'installer une nouvelle antenne à une hauteur suffisante pour respecter les exigences de l'OACI en matière de couverture du signal du radiophare. Le monticule avait une hauteur de 11,6 pieds mais, comme le terrain présentait une pente descendante à partir de l'extrémité de piste, la dalle de béton au sommet du monticule se trouvait en fait à la même hauteur que l'extrémité de piste. L'antenne culminait à une hauteur de 10 pieds en contrehaut du monticule. Un monticule similaire avait été érigé au même moment à 650 pieds de l'extrémité de la piste 06. Des monticules de terre similaires existent à d'autres aéroports canadiens; il y en a un entre autres à Fredericton (Nouveau-Brunswick) et plusieurs à l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto (Ontario).

Le 27 août 2003, NAV CANADA a envoyé un Formulaire d'autorisation d'obstacle aérien à Transports Canada pour la construction de deux monticules pour les nouvelles antennes de radiophare d'alignement de piste. L'approbation a été reçue le 8 septembre 2003. Toutefois, le personnel de l'aéroport s'est inquiété lorsque le premier monticule a été construit sur l'approche de la piste 24, essentiellement parce qu'il considérait ce monticule comme un danger potentiel. La HIAA a écrit à Transports Canada et a demandé des éclaircissements afin de savoir si ce monticule risquait d'avoir une incidence sur la certification de l'aéroport. Après une inspection du monticule effectuée par du personnel de Transports Canada, la HIAA a été avisée par Transports Canada dans une lettre datée du 8 octobre 2003 que les monticules pour les nouveaux radiophares d'alignement desservant la piste 06/24 ne contrevenaient pas aux normes de certification de l'aéroport.

Dans une lettre de suivi envoyée à la HIAA le 22 octobre 2003, Transports Canada indiquait que : [Traduction] « Compte tenu des renseignements fournis par NAV CANADA, nous avons établi que les radiophares d'alignement de piste en question respectent les normes de certification de l'aéroport. De plus, les prolongements dégagés n'étant pas touchés, la TODA actuelle demeure la même. » La lettre concluait de la façon suivante : [Traduction] « Par conséquent, du point de vue de la certification de l'aéroport, nous n'avons aucune réserve à formuler quant à l'installation des nouveaux radiophares d'alignement des pistes 06 et 24. »

Les normes de certification des aéroports se trouvent dans la publication *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312). Chaque extrémité de la piste 06/24 est dotée d'un prolongement dégagé qui offre une zone dégagée d'obstacles aux aéronefs au départ. Une zone dégagée d'obstacles comprend l'espace aérien situé au-dessus de la surface d'approche, des surfaces intérieures de transition et de la partie de la bande de piste limitée par ces surfaces qui n'est traversée par aucun obstacle fixe, à l'exception des objets légers et frangibles qui sont nécessaires à la navigation aérienne. La HIAA n'a fourni aucune liste d'obstacles, selon la définition de la publication *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312), concernant la trajectoire de départ des pistes 06 et 24. Le monticule de terre n'était pas considéré comme un obstacle, puisqu'il n'était pas présent dans la zone dégagée d'obstacles.

La publication *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312) reprend la terminologie de l'OACI, à savoir les mots « norme » ou « pratique recommandée », pour différencier les spécifications réputées avoir une incidence sur la sécurité des vols des spécifications qui ne nuisent qu'à l'efficacité opérationnelle. Seules les normes contenues dans cette publication sont obligatoires en matière de certification des aéroports canadiens; les pratiques recommandées sont optionnelles et peuvent ou non être mises en œuvre. Parmi les pratiques recommandées de la publication *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312) figure l'établissement d'une aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA), laquelle est définie comme étant une « aire symétrique par rapport au prolongement de l'axe de piste et adjacente à l'extrémité de bande, qui est destinée principalement à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion atterrirait trop court ou dépasserait l'extrémité de la piste ».

D'après les pratiques recommandées de la publication *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312), une RESA devrait débuter à l'extrémité de la bande de piste et se prolonger le plus loin possible, mais au moins sur une distance de 90 m (295 pieds). À Halifax, la bande de la piste 06/24 s'étend sur 60 m (197 pieds) au-delà du seuil de chaque piste. La longueur minimale d'une RESA spécifiée dans les recommandations serait alors d'au moins 150 m (492 pieds) à l'aéroport international de Halifax. Les monticules pour les radiophares d'alignement de la piste 06/24 sont tous les deux situés au-delà des distances minimales recommandées. Il n'y a pas de RESA publiée pour l'aéroport international de Halifax. L'OACI considère que la question des RESA relève d'une norme (paragraphe 3.5.1 de l'Annexe 14 de l'OACI) plutôt que d'une pratique recommandée.

1.10.5 Service automatique d'information de région terminale de Halifax

Voici les messages qui ont été diffusés par le service automatique d'information de région terminale (ATIS) entre le moment de l'arrivée du vol MKA1602 à l'aéroport international de Halifax et le moment de son départ :

[Traduction]

- Halifax International, information Victor, météo à 0400 Zulu¹⁵ : vent 260 à 7, visibilité 15, plafond 2200, ciel couvert, température 10, point de rosée 9, altimètre 29,66, approche ILS piste 24, atterrissages et départs piste 24, informez l'ATC que vous avez l'information Victor.
- Halifax International, information Whiskey, météo à 0500 Zulu : vent 260 à 5, visibilité 15, plafond 1800, ciel couvert, température 10, point de rosée 9, altimètre 29,67, approche ILS piste 24, atterrissages et départs piste 24, informez l'ATC que vous avez l'information Whiskey.
- Halifax International, information X-Ray, météo à 0600 Zulu : vent 270 à 5, visibilité 15, plafond 1700, ciel couvert, température 10, point de rosée 9, altimètre 29,67, approche ILS piste 24, atterrissages et départs piste 24, informez l'ATC que vous avez l'information X-Ray.

¹⁵ Zulu et UTC sont synonymes.

1.11 *Enregistreurs de bord*

1.11.1 *Enregistreur de la parole dans le poste de pilotage*

L'avion était équipé d'un enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR) Collins 642C-1 (réf. 522-4057-010, numéro de série 1660) qui avait été installé en mars 2004. Le CVR a été trouvé dans les débris, dans son support de montage, près de l'endroit où il avait été installé (Photo 5). Il présentait des signes caractéristiques d'une exposition prolongée à une source de chaleur intense. La bande magnétique a fondu et le CVR n'a pu fournir aucun renseignement aux enquêteurs. Ce modèle d'enregistreur n'était pas tenu de respecter les exigences plus rigoureuses de résistance au feu qui existent aujourd'hui, mais les conditions de chaleur ont été si extrêmes que la probabilité qu'un enregistreur à bande puisse résister à de telles conditions a été jugée très faible.

1.11.2 *Enregistreur de données de vol*

L'avion était équipé d'un enregistreur de données de vol (FDR) Sundstrand (réf. 981-6009-011, numéro de série 2756) qui avait été installé en avril 2004. Il prenait en compte 107 paramètres et avait une durée d'enregistrement de 25 heures. Le support d'enregistrement était constitué d'une bande en Vicalloy. Le FDR a été trouvé dans la zone de la cabine principale, en avant de l'emplanture de l'aile (photo 5). Le FDR a été endommagé par le choc et la chaleur, et la bande était sectionnée à deux endroits. Le FDR contenait des renseignements sur les six vols précédents ainsi que de bonnes données du vol de l'accident. Une petite partie des données du vol de l'accident n'a pu être récupérée à cause des épissures qu'il a fallu faire là où la bande s'est cassée au moment de l'impact.

1.11.3 *Pertes de données FDR*

À plusieurs endroits, les données FDR n'ont pu être récupérées à cause de distorsion du signal et de pertes d'information. À certains endroits, la distorsion était telle que toute récupération des données était impossible. Une itération des données causant des pertes d'information a été constatée pendant la circulation au sol, pendant la première partie du décollage et au cours des 12 dernières secondes de l'enregistrement. Les données résultant du processus d'itération ont été laissées comme s'il s'agissait de données valides, le but étant de montrer cette caractéristique sur les courbes des données (avant la course au décollage et au début de celle-ci), même si les données enregistrées des paramètres concernés n'étaient pas valides. Ces itérations ont été marquées comme non valides dans les 12 dernières secondes du vol, afin d'enlever les pertes d'information des courbes des données.

1.11.4 Événements enregistrés par le FDR lors du décollage à Halifax

Après le refoulement, l'avion a entrepris la circulation au sol, les volets ont été sortis à 20° et le stabilisateur a été compensé à 6,1 unités¹⁶, et il est resté à cette position durant le vol. Les vérifications des commandes de vol ont été effectuées pendant la circulation au sol. L'avion s'est engagé sur la piste 24 à la voie de circulation Delta et a remonté la piste jusqu'au seuil de piste. L'avion a alors fait un virage à droite de 180° pour s'aligner sur la piste (au 234 °M), les gaz ont été augmentés et le décollage sur la lancée a débuté à 6 h 53 min 22 s.

Au début de la course au décollage, les manettes des gaz ont été poussées en douceur de la poussée de ralenti sol (EPR d'environ 1,0) jusqu'à la puissance de décollage, avec les derniers réglages d'EPR entre 1,3 et 1,33. L'avion a atteint la vitesse de 80 KCAS à 6 h 53 min 46 s à quelque 1800 pieds du seuil de piste.

À la vitesse de 130 KCAS, le manche a été tiré à 8,4° afin de déclencher la rotation, l'avion passant le repère des 5500 pieds de la piste 24 (il restait donc 3300 pieds de piste). Le braquage commandé des gouvernes de profondeur cadrait avec l'action exercée sur le manche, et l'avion a commencé sa rotation (voir l'annexe C - Séquence de décollage). Le taux de rotation initial a été d'environ 2,2° par seconde. L'assiette en cabré s'est stabilisée brièvement vers 9°, l'avion ayant une vitesse de 144 KCAS. Le signal du contacteur d'inclinaison¹⁷ enregistré par le FDR a continué d'indiquer GROUND. Le manche a ensuite été tiré davantage pour atteindre 10°, et l'avion a réagi en prenant un cabré plus prononcé de l'ordre de 11°; c'est à ce moment-là qu'a eu lieu le premier contact de la partie inférieure du fuselage arrière avec la piste. L'avion se trouvait alors aux environs du repère des 8000 pieds et légèrement à gauche de l'axe de piste (Photo 2). Le manche a ensuite été relâché quelque peu pour revenir à 9°.

¹⁶ D'après les données FDR.

¹⁷ La logique air/sol du « signal discret du contacteur d'inclinaison » dépend de l'indication d'inclinaison du train d'atterrissage principal provenant d'au moins un train fuselage ou un train aile de chaque côté de l'avion. Il y a indication d'inclinaison à partir du moment où les inclinaisons du train aile et du train fuselage sont respectivement de 53° et 8° par rapport aux amortisseurs.

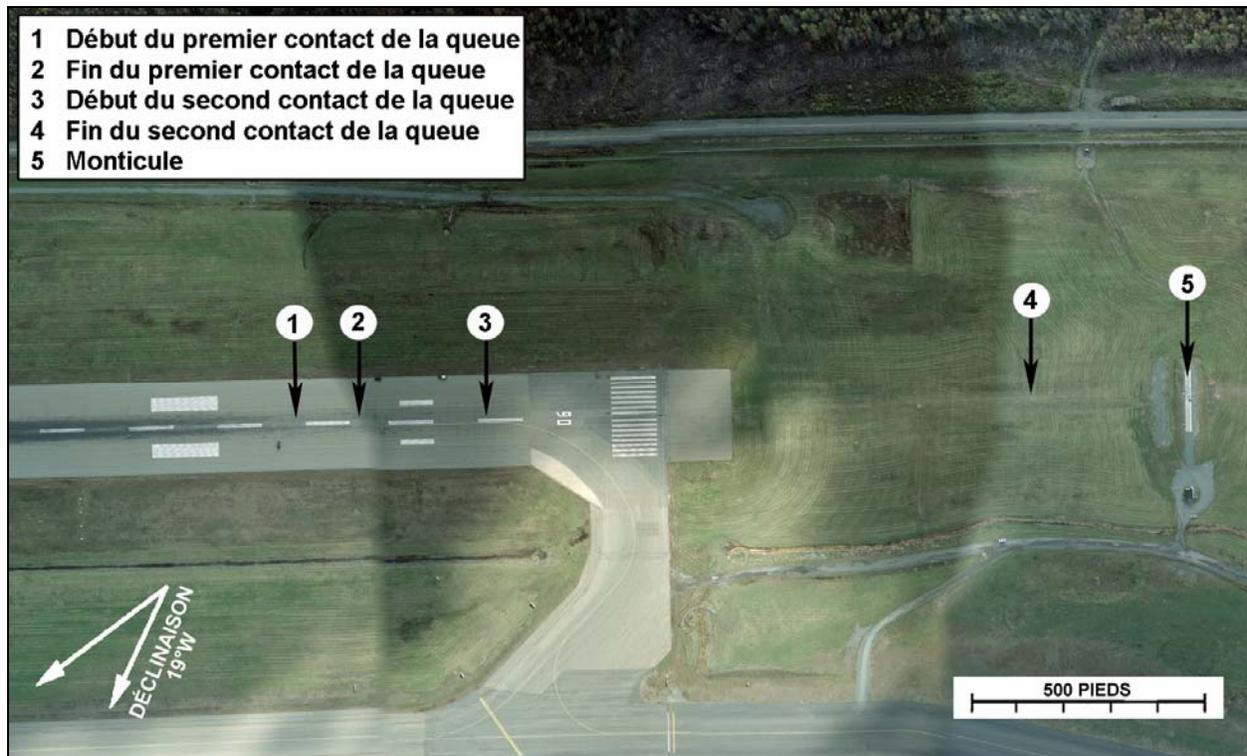


Photo 2. Emplacement du monticule de terre et des marques qui témoignent du contact répété avec le sol

L'assiette en cabré s'est stabilisée à 11° ou presque dans les quatre secondes qui ont suivi, et la partie inférieure du fuselage arrière n'a pas touché la piste pendant un bref moment. Alors qu'il restait quelque 600 pieds de piste, les manettes des gaz ont été poussées à 92 % (à 100 %, elles sont poussées à fond) et les EPR ont augmenté à 1,60. À 420 pieds de l'extrémité de piste, la partie inférieure du fuselage arrière a touché la piste une seconde fois. Quand l'avion est arrivé en bout de piste, le manche était tiré à $13,5^\circ$, le cabré était de $11,9^\circ$ et la vitesse était de 152 KCAS. Le cabré le plus important ($14,5^\circ$) a été enregistré à 6 h 54 min 24 s après que l'avion a franchi l'extrémité de piste à la vitesse de 155 KCAS, alors que le signal discret du contacteur d'inclinaison est passé sur AIR. L'avion a quitté le sol à quelque 670 pieds au-delà de la surface en dur, là où les marques au sol s'arrêtent. Quand la position enregistrée du contacteur d'inclinaison est passée sur AIR, la vitesse de l'avion était d'environ 155 KCAS, ce qui correspond à la vitesse minimale de décollage (V_{MU}) estimée de 150 ± 2 KCAS, signe que la portance était suffisante pour assurer la sustentation de l'appareil. À partir de ce moment-là, il y a des trous dans les données FDR à cause de pertes d'information et de fluctuations des données (voir 1.11.3).

Deux autres angles de cabrage ont été enregistrés, indiquant une rapide mise en piqué de -20° à 6 h 54 min 29 s. Cette information cadre avec le contact de la partie inférieure du fuselage arrière avec le monticule du radiophare et la perte de la queue de l'avion, d'où l'apparition d'un moment de piqué.

1.11.5 *Comparaison entre les décollages à Halifax et à Bradley*

Les données FDR correspondant au décollage à l'aéroport international de Halifax (masse de l'avion calculée à 353 800 kg) ont été comparées à celles du décollage à l'aéroport international Bradley (masse de l'avion de 239 783 kg) en vue d'établir les similitudes entre les deux vols (voir l'annexe A – Comparaison des paramètres moteur enregistrés par le FDR à Bradley et à Halifax, ainsi que l'annexe B – Comparaison des positions des gouvernes et des commandes de vol enregistrées par le FDR à Bradley et à Halifax). La comparaison est axée sur les vitesses de décollage, la performance des moteurs, les caractéristiques de la rotation, les actions sur les commandes et les déplacements des gouvernes.

Au cours des deux décollages, la vitesse de rotation a été d'environ 130 KCAS, volets sortis à 20°. Au décollage à l'aéroport international Bradley, l'avion a atteint la vitesse de rotation environ 13 secondes plus tôt, signe d'un taux d'accélération plus élevé qu'au cours du décollage ayant mené à l'accident à Halifax. Les paramètres moteur sont très similaires lors des deux décollages, les EPR étant réglés dans une plage allant de 1,30 à 1,33. Dans les deux cas, les moteurs ont accéléré normalement et se sont stabilisés à la poussée de décollage sans signe d'anomalie. Au cours du décollage à l'aéroport international Bradley, le taux de cabré initial à la rotation a été de 1,2° par seconde, et l'avion a commencé à monter quatre secondes plus tard, l'angle de cabré franchissant les 6°. Au décollage à Halifax, le taux de cabré a été plus élevé, à savoir 2,2° par seconde; toutefois, l'avion n'a pas réussi à quitter le sol alors que l'assiette en cabré s'était stabilisée à près de 10°. Par la suite, l'assiette en cabré a atteint la plage des 11° et a fini par augmenter à 14,5°.

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

1.12.1 *Renseignements sur l'impact*

La première marque qui témoigne du contact de l'avion avec la piste débute à 830 pieds avant l'extrémité de la piste 24. Située à 30 pouces à gauche de l'axe de piste, elle s'élargit peu à peu et se termine à 705 pieds après l'extrémité de piste. Cette marque forme une ligne décalée d'environ un demi-degré par rapport à l'axe de piste et se dirige vers la gauche (Photo 2).

La seconde marque qui témoigne du contact de l'avion avec la piste mesure 3 pouces de largeur. Elle débute à 412 pieds avant l'extrémité de piste et mesure presque 24 pouces de largeur au seuil de piste. On note d'autres marques et des fragments d'aluminium le long de cette marque qui continue dans l'aire de prolongement de piste en dur et dans la partie en herbe. Dans la partie en herbe, la marque mesure 24 pouces de largeur et 2 pouces de profondeur au début, mais elle s'élargit et atteint 30 pouces de largeur (Photo 3). La marque va en s'estompant et finit par disparaître à quelque 315 pieds avant le monticule, ce qui indique que l'avion a quitté le sol. Le seul élément qui témoigne du contact de l'avion avec le sol est la marque au sol laissée par la partie inférieure du fuselage arrière. Rien n'indique que les pneus de l'avion aient touché le sol au-delà de la surface en dur. Aucune partie de la structure principale de l'avion n'a été trouvée dans le sillon laissé par l'avion avant le monticule.

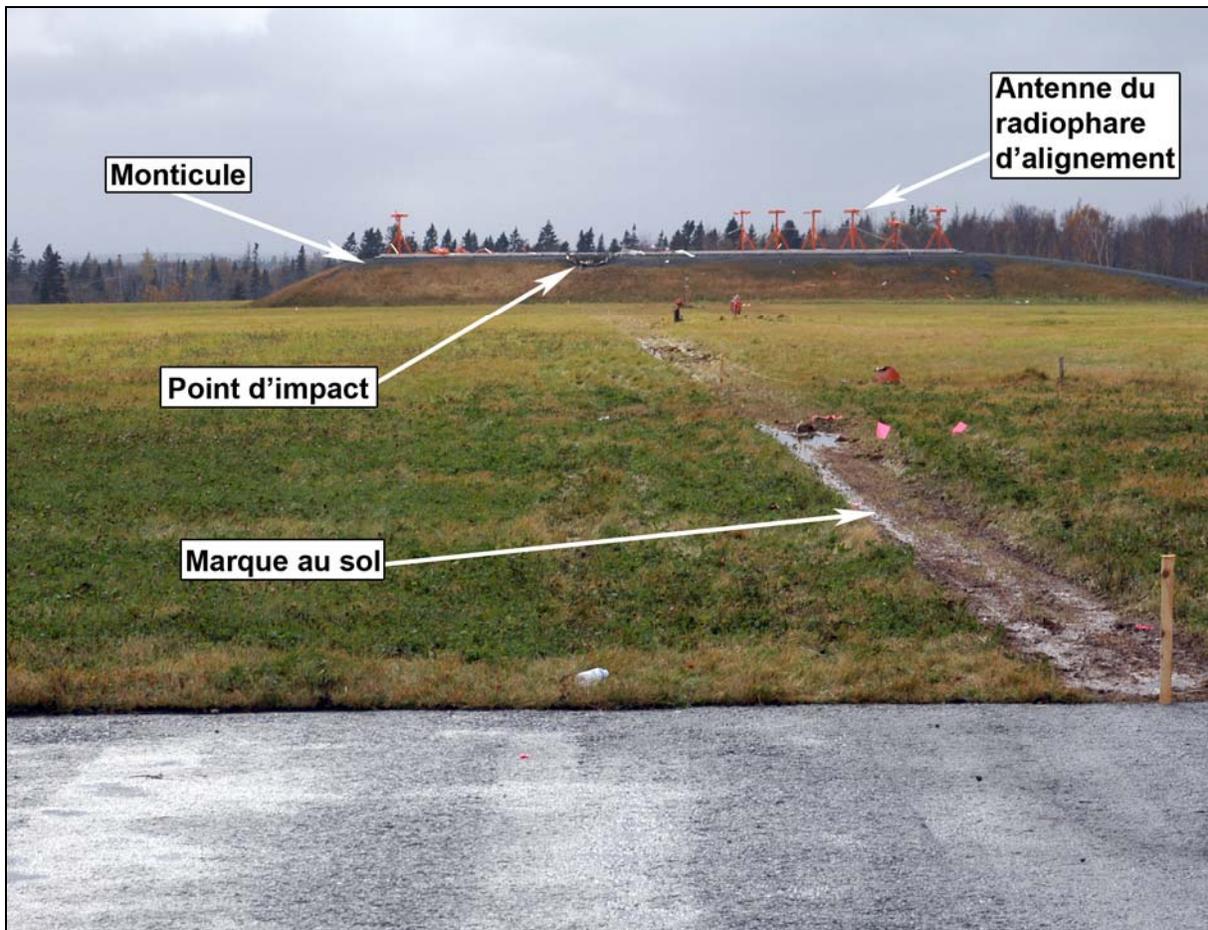


Photo 3. Vue de la marque au sol et du point d'impact initial avec le monticule

Une partie de la structure du fuselage (le joint de fuselage de la cloison étanche arrière se trouvant à la référence 2360 ainsi que certains morceaux adjacents du revêtement inférieur de l'avion) a été trouvée dans le monticule. Ces morceaux ont été trouvés dans le monticule à quelque 18 pieds à gauche du prolongement de l'axe de piste, à environ 30 pouces en contrebas du sommet de la dalle en béton, et ils avaient pénétré de quelque 24 pouces dans le monticule. Des marques noires de transfert de caoutchouc typiques d'un contact des pneus de l'avion ont été relevées sur certains éléments fracturés de l'antenne de l'ILS, signe que les pneus de l'avion ont percuté l'antenne (Photo 4). Aucune marque similaire n'a été relevée sur la largeur de la dalle en béton au sommet du monticule, ce qui indique que les pneus de l'avion se trouvaient à la verticale de cette dalle en béton quand l'avion l'a survolée. Les morceaux de revêtement inférieur de l'avion trouvés dans le monticule provenaient de l'axe central de l'avion et ils comprenaient une quantité à peu près équivalente de structure provenant d'un côté et de l'autre de cet axe. Cela indique que l'avion a percuté le monticule, les ailes à l'horizontale ou presque. L'avion a percuté le monticule dans une assiette de cabré comprise entre 15° et 24°. Si le cabré avait été inférieur à 15°, les roues auraient percuté le sommet du monticule, et s'il avait été supérieur à 24°, les pneus n'auraient pas percuté l'antenne.

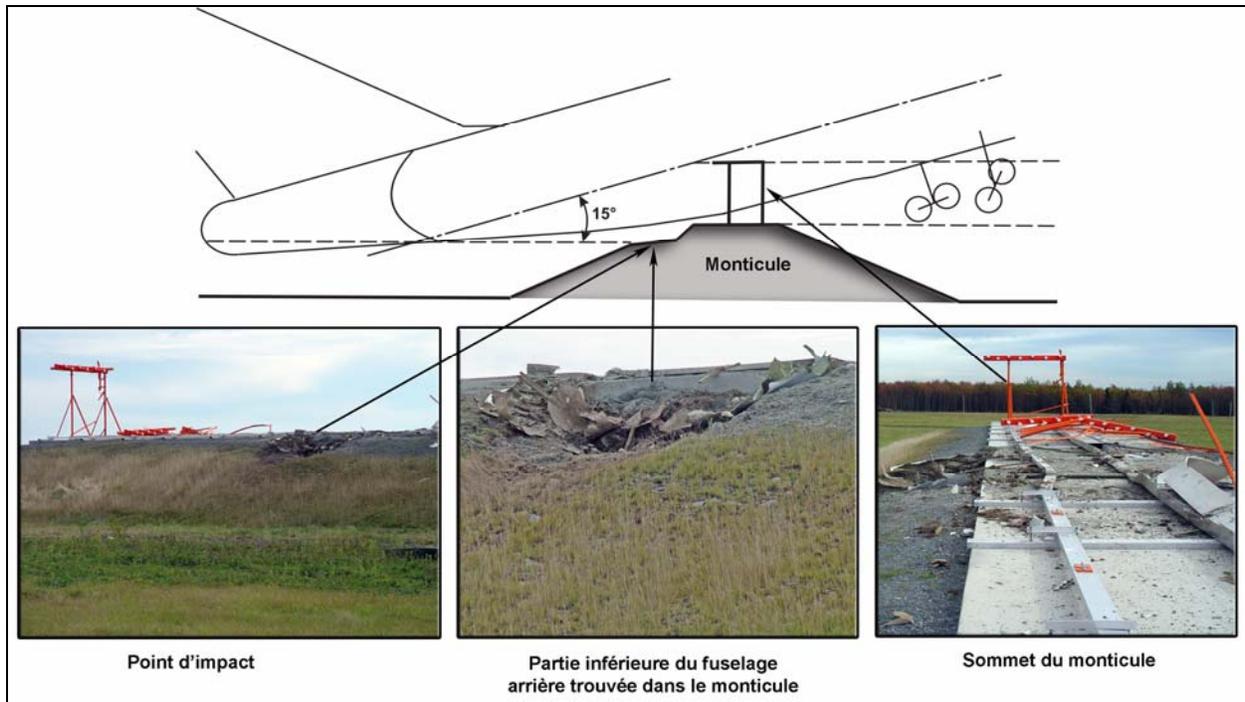


Photo 4. Assiette en cabré minimale de l'avion au point de contact avec le monticule

Un peu après le monticule, on a trouvé des parties importantes de l'avion, notamment la dérive et les stabilisateurs, une partie de la cloison étanche arrière, le cône de queue, le groupe auxiliaire de bord et des morceaux de revêtement inférieur du fuselage arrière. Dans la région boisée située au-delà du monticule, on a trouvé de nombreux morceaux plus petits de structure et de fret. Le sillon laissé par l'avion diminuait alors jusqu'au point d'impact principal, ce qui porte à croire que, après la perte de l'empennage, le reste de l'avion est demeuré relativement intact jusqu'au moment de l'impact (Photo 5).

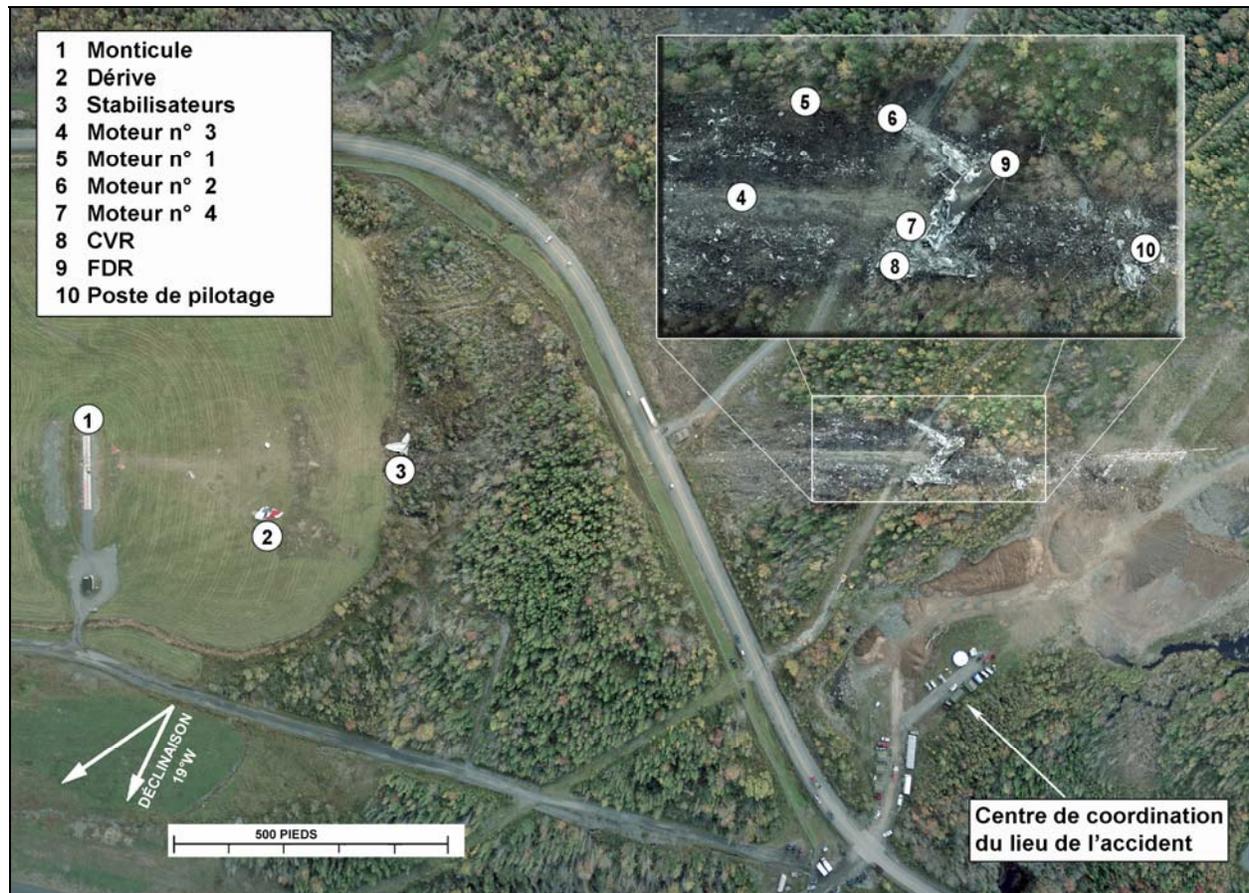


Photo 5. Répartition des débris

L'avion a percuté des arbres dans une zone boisée située au-delà de la clôture de l'aéroport, selon une trajectoire de descente de quelque 6 à 16°, les ailes à l'horizontale ou presque. La partie avant de l'avion a percuté le sol en premier, avec une force telle que la partie avant du fuselage s'est séparée du reste, ce qui a provoqué une importante dislocation de la structure et un violent incendie. L'avion a laissé un sillon de quelque 1000 pieds qui prenait fin dans une carrière. On n'a relevé aucun signe de dommages liés à un incendie antérieur à l'impact.

1.12.2 Examen de l'épave

L'examen des commandes de vol principales (gouvernes de direction, gouvernes de profondeur, stabilisateurs et ailerons) et des commandes de vol secondaires (déporteurs, volets de bord de fuite, volets à cambrure variable et volets Krueger) n'a révélé aucune anomalie préexistante qui aurait empêché le bon fonctionnement d'une commande. Les mesures faites sur les vérins à vis des stabilisateurs ont permis d'établir que les stabilisateurs étaient réglés à un cabré compris entre 5,5 et 5,6¹⁸. Les mesures des vérins à vis indiquent que trois des quatre

¹⁸ Le FDR indique 6,1, tandis que le devis de masse et centrage indique 5,8. Les écarts entre ces chiffres sont considérés comme étant à l'intérieur de tolérances raisonnables correspondant à un réglage de 5,8 dans le poste de pilotage.

volets de bord de fuite étaient braqués à 20° et que le quatrième était braqué à 10°. Toutefois, selon les données FDR, il est probable que ce volet était braqué à 20° au décollage et qu'il s'est déplacé pendant l'impact.

L'indicateur de vitesse des auto-manettes a été récupéré et affichait 037. Compte tenu de l'orientation générale des traces de saleté, il a été conclu que cet indicateur affichait probablement 147 après l'impact. L'anémomètre du commandant de bord a été récupéré; la face avant de l'instrument était manquante, et il n'y avait aucun curseur en plastique sur la couronne extérieure.

Des documents papier récupérés sur les lieux de l'accident ont été examinés par les enquêteurs du BST. Le plus important de tous ces documents était la fiche de compte rendu de mission portant sur la série de vols, laquelle renfermait les commentaires du commandant de bord de MKA1601 à propos du temps de service (voir 1.18.5.3). La carte des paramètres de décollage utilisée par l'équipage de conduite pour le décollage ayant mené à l'accident n'a pas été retrouvée.

Les indicateurs EPR des moteurs 2, 3 et 4 ont été récupérés et examinés. L'indicateur EPR du moteur 2 avait un curseur réglé à 1,32 et affichait une indication moteur de 1,01; l'indicateur EPR du moteur 3 avait un curseur réglé à 1,3X (le dernier chiffre était tombé à l'impact) et affichait une indication moteur de 1,02; le curseur de l'indicateur EPR du moteur 4 (Photo 6) était réglé à 1,33 et l'indicateur affichait une indication moteur de 1,305. Les EPR des trois instruments récupérés étaient donc réglés entre 1,32 et 1,33. Ces valeurs ont été jugées fiables; les légères différences ont été attribuées à l'impact.

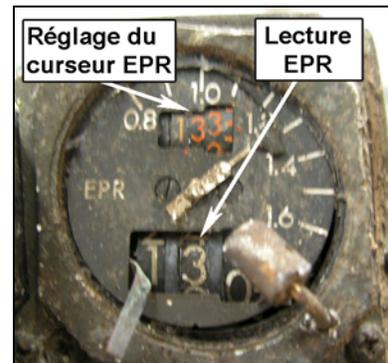


Photo 6. Indicateur EPR du moteur numéro 4

Les données FDR indiquent que les moteurs fonctionnaient à haute puissance quand l'avion a heurté le monticule; les données montrent que la puissance a été réduite avant l'impact final. Les dommages observés lors de l'examen des moteurs sur place montrent que les moteurs fournissaient de la puissance à l'impact final. Le train d'atterrissage était en position sortie.

Des tests de carburant effectués à partir des réservoirs de stockage du fournisseur de carburant n'ont rien révélé d'anormal.

Les inverseurs de poussée étaient rentrés au moment de l'impact. Les dossiers de l'avion indiquent que l'inverseur de poussée du moteur 3 était verrouillé (en position rentrée). Le FDR indique que les inverseurs de poussée n'ont pas été déployés avant l'impact.

1.13 Renseignements médicaux

Tous les occupants ont été identifiés grâce à leur empreinte génétique et, lorsque des fiches dentaires étaient disponibles, elles ont servi à vérifier l'identité des membres d'équipage. L'examen judiciaire et les analyses toxicologiques n'ont révélé aucun facteur physiologique ni aucune substance étrangère qui aurait pu perturber les capacités des membres de l'équipage de conduite.

1.14 Incendie

1.14.1 Généralités

Les services de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs (SLIA) de l'aéroport international de Halifax respectaient les normes prévues à la sous-partie 323, Normes visant l'aérodrome et l'aéroport relatives à la lutte contre les incendies d'aéronefs aux aéroports et aux aérodromes, de la partie III du RAC. La dernière inspection des services SLIA de l'aéroport international de Halifax faite par Transports Canada remontait au 27 novembre 2003 et n'avait révélé aucune anomalie.

Le 29 juillet 1997, une entente d'aide mutuelle en matière de lutte contre les incendies avait été signée entre les SLIA de l'aéroport international de Halifax et le service régional d'urgence et de lutte contre les incendies de Halifax. Les aéroports et les services municipaux de lutte contre les incendies ont souvent recours à ce genre d'entente afin de préciser les responsabilités de chacune des parties devant intervenir dans les cas où un organisme doit demander l'aide de l'autre. Malgré l'existence d'une aide mutuelle entre les organismes, ceux-ci n'avaient eu que quelques occasions de s'entraîner officiellement ensemble.

En voyant la boule de feu produite par l'avion, le contrôleur de la tour de l'aéroport international de Halifax a déclenché l'alarme. Les unités des services SLIA de l'aéroport sont intervenues et sont arrivées sur les lieux de l'accident environ cinq minutes après le déclenchement de l'alarme. L'accident a eu lieu sur le terrain de l'aéroport, mais à l'extérieur de la clôture de l'aéroport. Le service des incendies de la municipalité régionale de Halifax, le service des incendies d'Enfield, les services d'urgence et la Gendarmerie royale du Canada (GRC) sont tous intervenus dans les minutes qui ont suivi l'accident. La GRC a établi un périmètre de sécurité et a contrôlé l'accès des lieux.

1.14.2 Carte quadrillée

Le document intitulé *HIAA Emergency Plan Manual* (manuel du plan d'intervention d'urgence de la HIAA) contient une carte quadrillée de l'aéroport international de Halifax qui montre les pistes, les voies de circulation, les structures, les routes, la clôture de sécurité ainsi que les limites de l'aéroport. La carte était divisée en cases définies par un chiffre et une lettre qui permettaient une identification claire et rapide de tous les endroits d'intervention. Des exemplaires de cette carte quadrillée étaient affichés dans le poste d'incendie, dans la vigie de la tour de contrôle, dans le centre de sûreté opérationnel et dans le centre des opérations d'urgence; il y en avait également à bord de chaque véhicule de secours de l'aéroport.

En entendant l'alarme, le capitaine des pompiers du poste d'incendie de l'aéroport international de Halifax a appelé le contrôleur sur le téléphone de secours pour s'assurer qu'il y avait bien une situation d'urgence. On lui a fait une description générale de la zone de l'accident et de la direction à prendre, ce qui est la façon de faire normale des contrôleurs. Les coordonnées de la carte quadrillée n'ont pas été utilisées. Quand les pompiers de l'aéroport ont quitté le poste d'incendie, ils ont vu l'incendie qui faisait rage et se sont dirigés vers les lieux de l'accident.

Les contrôleurs de NAV CANADA avaient reçu une formation sur la façon d'utiliser une carte quadrillée d'aérodrome pour pouvoir identifier les différentes zones d'un aéroport. Dans le cadre de la formation SLIA à l'aéroport international de Halifax, les contrôleurs avaient déjà eu l'occasion d'utiliser la carte quadrillée pour diriger les pompiers vers différents endroits de l'aéroport.

Les autres organismes d'intervention ont été dépêchés sur les lieux de l'accident par l'opérateur du service 911 qui a donné une description générale du lieu de l'accident avec l'information disponible. Il y a alors eu une certaine confusion sur l'endroit exact où était survenu l'accident. Rien dans la réglementation ni dans les normes ou les procédures locales n'exige l'utilisation des cartes quadrillées d'aérodrome pour une intervention d'urgence, et aucun des autres organismes qui sont intervenus n'avait de cartes quadrillées de l'aéroport international de Halifax dans leurs véhicules.

Le BST a envoyé à Transports Canada un avis de sécurité aérienne à la suite d'un accident survenu en 1998 (rapport d'enquête A98Q0192 du BST). Cet avis portait sur l'utilisation de cartes quadrillées pour obtenir des indications fiables et efficaces en cas d'accident d'aviation. Le 14 août 2000, Transports Canada a indiqué au BST que cette question serait traitée dans un Avis de proposition de modification (APM) portant sur la réglementation et les normes en matière de sécurité des aérodromes. Cette modification n'a toujours pas été apportée.

1.14.3 Radiocommunications

Chaque véhicule des services SLIA était équipé de radios bidirectionnelles à très haute fréquence (VHF) permettant de communiquer avec le contrôleur sur la fréquence de contrôle sol. De plus, les pompiers possédaient des radios portatives à ultra-haute fréquence (UHF) qui, à cause d'une zone morte, ne permettaient pas de communiquer avec le centre des opérations d'urgence de la HIAA. Ces radios auraient pu servir sur place pour les communications des services SLIA, à condition d'utiliser le mode « simplex » qui permet des communications directes à courte distance.

En fin de compte, les pompiers des services SLIA ont dû faire des signaux manuels pour communiquer jusqu'à ce qu'ils reçoivent un poste radio mobile portatif d'un autre organisme d'intervention. Les services SLIA de l'aéroport de Halifax dispose d'un poste radio mobile portatif qui aurait pu permettre de communiquer avec d'autres organismes extérieurs comme le centre de régulation des services régionaux d'incendie et d'intervention d'urgence de Halifax et la GRC, mais ce poste radio portatif était resté au poste d'incendie. Les pompiers ont également essayé d'utiliser leurs propres téléphones cellulaires pour communiquer avec le centre des opérations d'urgence, mais le signal n'était pas fiable.

1.14.4 Centre de commandement

Les pompiers des services SLIA de l'aéroport international de Halifax sont arrivés les premiers sur place et ont pris le commandement des opérations. Bien qu'intervenant à l'extérieur de la clôture de l'aéroport, ils se doutaient que l'avion se trouvait toujours à l'intérieur des limites de l'aéroport. Le *HIAA Emergency Plan Manual* précise que les services SLIA de l'aéroport international de Halifax doivent diriger les opérations lorsqu'un accident aérien survient à l'intérieur de l'aéroport et que le service municipal des incendies doit diriger les opérations si l'accident survient à l'extérieur de l'aéroport. Les responsabilités quant aux accidents survenant à l'intérieur et à l'extérieur de l'aéroport ont beau être décrites dans plusieurs documents, il n'empêche que la limite entre ces deux zones n'est pas clairement définie. À plusieurs endroits, les limites de l'aéroport se situent au-delà de la clôture de l'aéroport.

Lorsque les pompiers du service d'incendie de la municipalité régionale de Halifax sont arrivés sur les lieux de l'accident, ils ont constaté que l'avion se trouvait à l'extérieur de la clôture de l'aéroport et ils en ont déduit que c'était à eux de prendre le commandement des opérations. Un poste de commandement unifié a été mis en place. Il comprenait le service d'incendie de la municipalité régionale de Halifax, les services d'urgence, la GRC ainsi que les services SLIA de l'aéroport international de Halifax. La confusion qui a régné pendant un certain temps quand on a cherché à savoir qui dirigeait les opérations n'a pas entraîné de problèmes importants. Certains intervenants ont fait remarquer qu'un complément de formation inter-organismes était nécessaire.

1.14.5 Occupants de l'avion et marchandises dangereuses à bord

Les contrôleurs de la tour de l'aéroport international de Halifax n'ont pas pu obtenir immédiatement l'information nécessaire sur le nombre de personnes à bord de l'avion et sur les marchandises dangereuses à bord. Peu après l'accident, les contrôleurs ont vainement essayé d'entrer en communication avec la société de service d'escale pour connaître le nombre de personnes à bord de l'avion du vol MKA1602 ainsi que le type de marchandises dangereuses transportées.

Conformément aux *Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses* de l'OACI, des documents d'expédition doivent accompagner les marchandises dangereuses se trouvant à bord d'un aéronef. L'équipage de conduite du vol MKA1602 avait des copies des documents d'expédition, et des copies se trouvaient également à l'aéroport international Bradley, là où les marchandises dangereuses avaient été chargées à bord de l'avion. La réglementation exige uniquement que des copies des documents d'expédition soient laissées à l'aéroport où les marchandises dangereuses ont été chargées; par conséquent, les autorités des aéroports intermédiaires ne sont pas au courant de toutes les marchandises dangereuses qui peuvent se trouver à bord d'un aéronef.

Environ une heure après l'accident, le personnel des opérations de MK Airlines Limited a contacté la tour de contrôle de l'aéroport international de Halifax et a fait savoir au contrôleur que l'avion du vol MKA1602 transportait sept membres d'équipage. Ce renseignement a aussitôt été transmis aux services SLIA et au centre des opérations d'urgence de la HIAA. À 8 h 40, MK Airlines Limited a informé les services SLIA qu'aucune marchandise dangereuse

n'avait été chargée à bord du vol MKA1602 à l'aéroport international de Halifax. À 17 h, soit quelque 10 heures après l'accident, MK Airlines Limited a envoyé une télécopie de 30 pages énumérant les marchandises dangereuses qui avaient été chargées dans l'avion à l'aéroport international Bradley. Il y avait entre autres des fournitures médicales, des produits adhésifs, de la peinture, des aromatisants alimentaires et des véhicules à moteur.

Lorsqu'un avion déclare une situation d'urgence, les contrôleurs doivent communiquer avec l'équipage de conduite pour connaître le nombre de personnes à bord et le type de marchandises dangereuses transportées. Quand il est impossible de communiquer avec l'équipage de conduite, la compagnie aérienne doit être capable de fournir ces renseignements, même si cela peut prendre du temps. Toutefois, il est rare que les contrôleurs aient les renseignements nécessaires pour joindre les personnes-ressources des nombreuses compagnies aériennes.

1.15 *Questions relatives à la survie des occupants*

Tous les occupants de l'avion ont été trouvés dans le poste de pilotage et dans le poste de repos situé au niveau du pont supérieur juste en arrière du poste de pilotage. L'intégrité de ces parties de l'avion a été fortement compromise au moment de l'impact et de la dislocation de l'avion. De plus, un violent incendie a éclaté après l'accident. L'accident n'offrait donc aucune chance de survie.

1.16 *Essais et recherches*

On a demandé au constructeur de l'avion d'analyser les caractéristiques de performance de l'avion du vol MKA1602 à l'aéroport international de Halifax. À partir des données FDR enregistrées lors du décollage ayant mené à l'accident et des vols précédents, le constructeur a eu recours à deux outils logiciels indépendants pour évaluer le décollage du vol MKA1602. Le BST et le National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis ont examiné l'analyse du constructeur et ont pu constater que les caractéristiques de performance de MKA1602 correspondaient aux caractéristiques prévues en exploitation normale. Les EPR de la simulation et ceux enregistrés par le FDR étaient similaires, validant d'autant plus les modèles de simulation des conditions présentes au moment de la course au décollage. Les résultats des deux outils logiciels ont montré que la masse réelle de l'avion au moment de la tentative de décollage à l'aéroport international de Halifax était raisonnablement proche de la masse calculée par le BST.

L'analyse technique du constructeur a également fourni la trajectoire hypothétique que l'avion aurait suivi s'il n'y avait pas eu de monticule sur sa trajectoire. Compte tenu des limites des logiciels et des nombreuses hypothèses qu'il a fallu envisager pour modéliser un tel décollage (au cours duquel la partie inférieure du fuselage arrière entre en contact avec le sol), il a été difficile d'en arriver à un résultat clair. Quoi qu'il en soit, en supposant que les performances de l'avion soient restées identiques à celles qui existaient avant le contact avec le monticule, il a été jugé probable que l'avion aurait poursuivi le vol et qu'il serait peut-être entré en contact avec le sommet des arbres situés 2000 pieds au-delà de l'extrémité de piste. Le sommet du monticule se

trouvait à la même hauteur que l'extrémité de piste, et on a estimé que le sommet des arbres se trouvait à peu près à la même hauteur que le monticule ou légèrement un peu plus haut (Photo 3).

1.17 Renseignements sur les organismes

1.17.1 MK Airlines Limited

1.17.1.1 Généralités

La compagnie a ouvert ses portes en 1990 avec un seul avion DC-8; elle portait alors le nom de Cargo d'Or et exerçait ses activités en vertu d'un certificat d'exploitation aérienne ghanéen. Au cours de la même période, la compagnie a ouvert un bureau au Royaume-Uni, près de l'aéroport de Gatwick, pour faciliter les ventes. En 1993, la compagnie a investi dans une autre compagnie ghanéenne appelée Venus Air et a transféré l'avion de Cargo d'Or dans le certificat d'exploitation aérienne de Venus Air. Simultanément à ce transfert, la compagnie a pris le nom de MK Airlines Limited. En novembre 1993, les bureaux commerciaux de Gatwick ont déménagé là où ils se trouvent aujourd'hui, à Landhurst (East Sussex). À ce nouvel emplacement, le meilleur potentiel en matière de communication et d'infrastructure a permis des améliorations au niveau des fonctions de gestion interne, de la formation au pilotage, de la maintenance, de l'affectation des équipages et du contrôle opérationnel.

À mesure que la compagnie prenait de l'expansion, d'autres DC-8 ont été ajoutés à la flotte et d'autres employés ont été engagés. La plupart des nouveaux membres d'équipage de conduite provenaient de l'Afrique australe, et nombre d'entre eux avaient des antécédents militaires ou connaissaient déjà le directeur général ou d'autres employés de MK Airlines Limited. La compagnie avait pour philosophie d'offrir aux gens de cette partie du monde des possibilités d'emploi qu'ils n'auraient pas trouvées ailleurs.

Le premier B747 a rejoint la flotte de la compagnie en 1999. Au moment de l'accident, la compagnie exploitait 6 avions DC-8 et 6 avions B747. Ces dernières années, la compagnie avait augmenté sa flotte de un avion en moyenne chaque année dans le but de répondre à la demande croissante de transport de fret, demande qui augmentait de quelque 30 % par an. Au moment de l'accident, la compagnie employait environ 450 personnes. Toutefois, plusieurs membres d'équipage de conduite ont indiqué qu'il y avait pénurie de personnel, notamment au niveau des équipages de B747. Ces pénuries étaient dues à l'expansion de la compagnie, aux exigences de formation et à des problèmes de maintien des membres d'équipage (voir 1.17.1.5).

Au moment de l'accident, MK Airlines Limited était titulaire d'un certificat d'exploitation aérienne portant le numéro 16/18/2003 délivré par l'autorité de l'aviation civile du Ghana, la Ghana Civil Aviation Authority (GCAA), le 22 décembre 2003 et valide jusqu'au 31 décembre 2004. Ce certificat permettait le transport public de passagers, de fret et de courrier ainsi que le travail aérien avec des avions B747 et DC-8. La compagnie avait un important réseau de routes intercontinentales, dont beaucoup étaient longues et de forme triangulaire dans le but de répondre au mieux aux exigences du marché.

1.17.1.2 *Supervision et surveillance réglementaire des opérations aériennes*

Le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited décrivait comment la compagnie gérait ses opérations aériennes. En prévision de l'adoption au Parlement ghanéen des GCAR de 2002 (voir 1.17.2.2), le manuel d'exploitation décrivait également certains programmes qui n'étaient pas entièrement élaborés ou mis en œuvre, comme le programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes et de sécurité des vols.

Conformément au manuel d'exploitation de MK Airlines Limited, le gestionnaire des opérations devait s'assurer que les opérations aériennes faisaient l'objet d'une supervision adéquate. Dans les deux années ayant précédé l'accident, le poste de gestionnaire des opérations avait été occupé par le pilote en chef de la flotte de B747 à titre intérimaire. En plus des tâches inhérentes à sa fonction de gestionnaire des opérations par intérim, cette personne devait également voler très souvent en ligne à titre de pilote en chef de la flotte de B747. Ses vols en ligne lui permettaient d'exercer une supervision suffisante des opérations et permettaient aux équipages de faire connaître leurs préoccupations et de lui poser directement des questions. Toutefois, les responsabilités propres à la gestion des opérations n'étaient pas entièrement exercées. Par exemple, le manuel d'exploitation n'était pas tenu à jour, la supervision des limites de temps de vol et de temps de service était déficiente dans certains domaines, et le respect uniforme des SOP n'était pas assuré.

De nombreux membres d'équipage de conduite de MK Airlines Limited avaient des antécédents similaires. Les employés de la compagnie avaient une approche familiale des affaires, ce qui se manifestait à tous les niveaux, y compris au sein des équipages de conduite et du personnel de supervision et de gestion. Cet environnement familial avait des conséquences tant positives que négatives pour la compagnie. Par exemple, cet environnement créait un important sens de loyauté et d'engagement envers le succès de la compagnie, ce qui était positif. Par contre, l'environnement était tel qu'il était possible que les gestionnaires et les superviseurs aient du mal à s'assurer que leurs « amis » respectent les procédures et les politiques de la compagnie. À titre d'exemple, certains pilotes superviseurs avaient remarqué des cas de non-respect des SOP alors qu'ils étaient des membres d'équipage non en fonction. Ces situations n'avaient pas été signalées ni à l'équipage de conduite ni à la compagnie, à cause de cette ambiance familiale et du poste que la personne occupait pendant le vol. Fait à remarquer, plusieurs pilotes superviseurs avaient effectué des vols MKA1601 et MKA1602 au cours desquels le nombre maximum d'heures de service permises avait été dépassé, sans qu'aucune mesure ne soit prise.

Compte tenu de la nature des vols non réguliers de transport de fret et des liaisons assurées, les gestionnaires et les équipages devaient constamment relever de gros défis, comme les retards au départ, les changements d'horaire, les avions en panne, les destinations inhospitalières et les limites de temps de vol des équipages de conduite. Dans un tel contexte, les gestionnaires et les équipages avaient parfois le sentiment qu'il était acceptable de s'écarter des politiques et des procédures de la compagnie pour pouvoir accomplir la mission. On procédait de la sorte en pensant que les risques étaient gérables.

1.17.1.3 *Programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes et de sécurité des vols*

Le programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes et de sécurité des vols décrit dans le manuel d'exploitation était relativement nouveau et avait quelque peu traîné en longueur. La compagnie tenait à avoir un programme préparé à l'interne et reflétant la culture de la compagnie, plutôt qu'un programme tout fait. La direction de la compagnie a indiqué avoir une approche ouverte face à la sécurité des vols, en précisant qu'il s'agissait là d'un point très important. L'information de sécurité était distribuée rapidement aux équipages sous la forme de bulletins de vol informatisés. Au moment de l'accident, certains éléments du programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes et de sécurité des vols décrit dans le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited n'étaient pas vraiment en place ou ne l'étaient que partiellement.

Malgré la présence d'un système d'enquête sur les événements et l'acquisition d'un logiciel de suivi des événements, la base de données était toujours en cours de préparation. Il n'y avait aucun système de comptes rendus confidentiels.

Il n'y avait aucun programme de vérification de l'assurance de la qualité des opérations aériennes. Toutefois, la compagnie avait évalué un certain nombre de systèmes qui lui aurait permis de récupérer et d'analyser les données FDR.

1.17.1.4 *Formation et tests sur les avions de la compagnie*

MK Airlines Limited avait connu une croissance rapide, notamment au niveau de l'exploitation du B747. La compagnie qui jadis avait recours à des ressources extérieures pour dispenser presque toute sa formation disposait maintenant de tous les moyens de formation à l'interne. Au jour de l'accident, la compagnie dispensait environ six cours de conversion sur B747 chaque année. La compagnie avait ses propres simulateurs de vol : un simulateur B747 et un simulateur DC-8.

La compagnie avait également un programme complet de familiarisation de 40 heures pour les équipages de conduite. Ce programme était obligatoire pour tous les membres d'équipage de conduite nouvellement embauchés.

Le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited (annexe A de la partie D - Formation) contient un plan du cours au sol et sur simulateur pour le DC-8. La partie D du manuel d'exploitation ne contient pas un tel plan de cours au sol et sur simulateur pour le B747; toutefois, un manuel distinct décrit le contenu de la formation au sol ainsi que le programme de formation sur simulateur.

Pour le B747, l'instruction en salle de cours était complétée par une formation pratique en simulateur. La formation en simulateur était relativement complète; elle comprenait 14 séances sur simulateur de 4 heures ainsi qu'un test de vérification de compétence et un test de vol aux instruments au terme des séances.

Il y avait un système pour le suivi de la formation demandée par les divers membres d'équipage et pour le classement des différents dossiers de formation; toutefois, lorsque les enquêteurs du BST ont demandé les dossiers de formation des membres d'équipage victimes de l'accident, certains documents étaient manquants ou ont été difficiles à trouver.

La formation en matière d'équipement et de logiciels ayant recours aux nouvelles technologies, comme le BLT, se faisait par auto-apprentissage et expérience pratique à l'aide de matériel didactique tiré du manuel du fabricant du logiciel (Boeing). L'information était diffusée sous forme d'avis aux équipages de conduite mais n'avait pas été incorporée dans le manuel d'exploitation. Il n'existait aucun document officiel attestant des connaissances et des compétences d'une personne dans l'utilisation de l'équipement.

Le service de formation de la compagnie était composé de pilotes superviseurs et de mécaniciens navigants dévoués, expérimentés et compétents. Le service de formation insistait beaucoup sur le respect des SOP en tout temps. Lors des séances de formation et des vérifications de compétence en ligne, la plupart des employés estimaient que la formation était suffisante et que les SOP convenaient aux opérations. Dans la pratique, la plupart des équipages de conduite estimaient que les SOP devaient être suivies, sauf dans des circonstances bien particulières justifiant de s'en écarter.

1.17.1.5 Pressions exercées sur les équipages

Un nombre important d'employés de MK Airlines Limited, surtout les membres d'équipage de conduite, habitaient en Afrique australe. En raison des endroits où se trouvent les bureaux de la compagnie et de son réseau aérien, les employés en service étaient séparés de leurs familles pendant plusieurs semaines. En raison de l'agitation politique et sociale qui règne dans certaines de ces régions, les familles des employés étaient exposées à des risques quand ceux-ci étaient partis. Plusieurs exemples ont été donnés, comme des familles d'employés qui ont été victimes d'intrusion dans leur domicile ou d'attaques corporelles. Ce phénomène a été identifié comme une source de stress au sein de la compagnie.

Dans l'espoir d'améliorer les conditions de travail au sein de la compagnie, le directeur général de MK Airlines Limited avait demandé, quelque temps avant l'accident, que le commandant de bord du vol MKA1602 lui soumette, au nom des équipages, une lettre faisant état des préoccupations générales des membres d'équipage et de leurs suggestions pour améliorer la situation. La lettre a été soumise peu avant l'accident, et la compagnie l'a remise de son plein gré aux enquêteurs du BST. La lettre faisait état de l'inquiétude concernant l'augmentation récente du nombre de pilotes qui quittaient la compagnie et suggérait de mettre en place un nouveau régime de rémunération capable d'assurer une situation financière plus stable aux membres d'équipage de conduite. La lettre indiquait également qu'il n'y avait pas assez d'équipages de conduite par avion. De plus, on y parlait de la vie incertaine de ceux qui habitaient en Afrique australe, précisant que les longues périodes passées à l'extérieur accroissaient le stress et incitaient les membres d'équipage de conduite à se chercher du travail ailleurs. La lettre signalait que la présence de personnel de soutien opérationnel inexpérimenté, combinée aux pressions des services commerciaux, créait des difficultés au niveau de l'affectation des équipages.

D'autres employés de la compagnie ont signalé qu'il y avait une pénurie constante de membres d'équipage de B747, ce qui les obligeait à passer de longues périodes loin de chez eux. Par le passé, pour régler ce manque d'équipages, la compagnie avait engagé à contrat des membres d'équipage de conduite de l'Argentine pour venir aider à l'exploitation de ses DC-8.

1.17.1.6 *Pratiques de maintenance de la compagnie*

Un examen des dossiers techniques a montré que toutes les exigences du programme de maintenance approuvé avaient été exécutées sur l'avion immatriculé 9G-MKJ, conformément aux écarts et tolérances approuvés par la GCAA.

1.17.2 *La Ghana Civil Aviation Authority (GCAA)*

1.17.2.1 *Généralités*

Depuis 1991, la GCAA a investi en personnel, en formation et en équipement pour aider à veiller au respect des normes et pratiques recommandées (SARP) de l'OACI. En 1993, la GCAA a demandé à Transports Canada de faire un examen de la sécurité. Au terme de cet examen, la GCAA a reçu un rapport identifiant les points à améliorer, ce qui comprenait une réécriture de la réglementation et la préparation d'un guide de surveillance réglementaire destiné aux inspecteurs. Plusieurs Canadiens se sont vus octroyer un contrat en 1995 pour aider la GCAA dans son travail. Un nouvel ensemble de dispositions réglementaires est entré en vigueur en 1995.

1.17.2.2 *Les Ghana Civil Aviation Regulations (GCAR)*

Les GCAR de 1995 constituaient la réglementation en vigueur au moment de l'accident. En 1997, l'OACI avait constaté que cette réglementation avait besoin d'être mise à jour.

L'OACI a procédé à une vérification de la GCAA en avril 2001 et a noté dans son rapport que les mesures correctives prises par la GCAA à la suite des constatations découlant de la vérification étaient généralement satisfaisantes. La vérification avait également établi que la nouvelle réglementation (les GCAR de 2002) respectait la plupart des normes et pratiques recommandées (SARP) de l'OACI mais n'avait pas encore été approuvée par le Parlement ghanéen.

Un suivi de la vérification a eu lieu en mai 2003 pour déterminer les progrès liés aux mesures correctives. Certains progrès ont été constatés, mais les efforts faits par la GCAA en matière de réglementation ont été gênés par le retard permanent pour arriver à faire entrer en vigueur la nouvelle réglementation (les GCAR de 2002). L'OACI avait noté à ce moment que le Ghana avait délivré cinq certificats d'exploitation aérienne et qu'il y avait deux organismes de maintenance agréés. Le 11 novembre 2004, le Parlement de la République du Ghana a adopté le *Civil Aviation Act, 2004* (la loi de 2004 sur l'aviation civile), ce qui a donné force de loi à la version 2002 de la réglementation.

1.17.2.3 *Surveillance des opérations aériennes par la Ghana Civil Aviation Authority*

On a demandé à la GCAA de fournir tous les dossiers de l'ensemble des inspections, des vérifications et de la correspondance concernant MK Airlines Limited couvrant les deux années ayant précédé l'accident survenu à l'aéroport international de Halifax. Le dossier d'inspection des opérations de MK Airlines Limited provenant de la GCAA a été examiné afin de déterminer la véritable fréquence des inspections et d'évaluer le traitement des lacunes de sécurité identifiées par la GCAA. Il a été conclu que le nombre réel des inspections effectuées au cours des deux années ayant précédé l'accident avait été inférieur à la fréquence minimale des inspections (aux environs de 20) figurant dans le manuel de l'inspecteur. La fréquence des inspections de MK Airlines Limited avait diminué du fait qu'il y avait eu une augmentation de la vigilance et qu'un autre transporteur aérien ghanéen avait fait l'objet d'une inspection.

Une inspection de la base effectuée par la GCAA en septembre 2003 a révélé que des éléments du manuel d'exploitation de MK Airlines Limited avaient besoin d'être révisés; toutefois, de nombreux éléments n'ont pas été identifiés alors qu'ils n'étaient plus à jour, qu'ils n'étaient pas respectés ou qu'ils étaient en conflit avec la réglementation. À titre d'exemple de conflit entre le manuel d'exploitation et la réglementation, on peut citer la pratique voulant qu'on permette à un pilote de quitter le poste de pilotage pendant des périodes prolongées en vol. Bien que cette pratique ait été notée comme étant une lacune au cours d'une inspection en vol effectuée par la GCAA et ait été formellement consignée, l'inspecteur de la GCAA n'était apparemment pas au courant que le paragraphe 8.3.10.1 (révisé en 2001) du manuel d'exploitation de MK Airlines Limited permettait à un membre d'équipage de conduite de quitter le poste qui lui avait été assigné pour une raison et une période convenues avec la permission du commandant de bord. Il importe de souligner que le paragraphe 8.3.10.1 du manuel d'exploitation contredit le paragraphe 7.4, lequel interdit au pilote de quitter son poste de travail pendant une période prolongée.

Même si la GCAA demandait de respecter la réglementation de 2002, la compagnie avait l'impression que la version de 1995 était toujours en vigueur, ce qui a pu mener à diverses interprétations. La version de 1995 des GCAR indiquait que, si un aéronef nécessite la présence de deux pilotes, le commandant de bord doit faire en sorte que les deux pilotes restent aux commandes au décollage et à l'atterrissage. La GCAA a indiqué qu'elle ne connaissait pas les durées des périodes de repos ni le nombre d'heures de service et d'heures de vol dont se servait la compagnie au moment de l'accident, même si ces chiffres étaient utilisés et inscrits dans le manuel d'exploitation de la compagnie depuis deux ans.

1.17.2.4 *Surveillance de la navigabilité aérienne par la Ghana Civil Aviation Authority*

Les GCAR de 1995 indiquaient que la GCAA devait effectuer des vérifications périodiques et que celles-ci devraient avoir lieu en même temps que les visites de supervision. La réglementation ne précise ni la fréquence ni le nombre de ces vérifications ou visites. Les inspecteurs de la navigabilité aérienne de la GCAA ont participé en septembre 2003 à l'inspection de la base de MK Airlines Limited à Landhurst. De plus, il a été signalé que la GCAA avait effectué des visites sur place au moment du renouvellement annuel du certificat de navigabilité de chaque avion. Au cours de ces visites, la GCAA devait effectuer une inspection

axée sur l'avion et les documents techniques pertinents. Comme la flotte comptait 12 avions, la GCAA aurait dû se trouver au moins 12 fois par an dans les installations de MK Airlines Limited pour y faire des inspections.

Malgré la découverte de quelques lacunes au cours de l'examen de la navigabilité aérienne de MK Airlines Limited, il est apparu que la GCAA offrait globalement un niveau adéquat de surveillance de la navigabilité aérienne. Dans une lettre envoyée par la GCAA à MK Airlines Limited après une vérification de navigabilité aérienne, il était fait remarquer que des modifications apportées au manuel de contrôle de la maintenance (MCM) et à la liste d'équipement minimal (MEL) n'avaient pas été communiquées à l'autorité concernée en vue d'une approbation préalable. La GCAA n'a pas reçu le plan de mesures correctives promis par MK Airlines Limited à la suite de l'inspection de la base en septembre 2003.

1.17.3 *Transports Canada*

La Division de l'inspection à l'étranger de Transports Canada a effectué une inspection de la base de MK Airlines Limited au Royaume-Uni entre le 15 et le 26 août 2002. Le dernier paragraphe du rapport d'inspection de la base indiquait que la compagnie se verrait délivrer un certificat canadien d'exploitant aérien étranger sur réception d'un plan acceptable de mesures correctives traitant des constatations de l'inspection. MK Airlines Limited a soumis un tel plan en octobre 2002. Le 20 décembre 2002, la Division de l'inspection à l'étranger de Transports Canada a délivré à MK Airlines Limited le certificat canadien d'exploitant aérien étranger portant le numéro F-10326. La Division de l'inspection à l'étranger avait des réserves quant à la délivrance d'un tel certificat, compte tenu du dossier d'accidents de MK Airlines Limited (voir 1.18.6). Toutefois, elle a été impressionnée par la gestion de MK Airlines Limited, par la rapidité et le contenu du plan de mesures correctives et par la qualité de la rétroaction provenant de la Civil Aviation Authority (CAA) du Royaume-Uni. Un autre facteur de confiance au moment de la prise de décision tenait à l'évaluation de la FAA qui indiquait que la GCAA était une autorité réglementaire de catégorie 1.

1.17.4 *La Federal Aviation Administration des États-Unis*

En août 1992, la FAA a instauré un programme d'évaluation de la sécurité aérienne internationale appelé *International Aviation Safety Assessment (IASA)* pour déterminer si une autorité de l'aviation civile étrangère se conforme aux SARP de l'OACI. La FAA utilise deux catégories : la catégorie 1 (conformité aux normes internationales minimales de sécurité aérienne) et la catégorie 2 (non-conformité aux normes internationales minimales de sécurité aérienne). La FAA évalue le système de surveillance de la sécurité de l'autorité de l'aviation civile étrangère et détermine s'il est adéquat pour assurer le respect des normes de l'OACI.

Les éléments de base que la FAA juge nécessaires sont les suivants :

- des lois permettant au bureau gouvernemental approprié d'adopter la réglementation nécessaire au respect des normes minimales de l'OACI;
- une réglementation en vigueur qui respecte ces normes;
- des procédures pour s'acquiescer des exigences réglementaires;
- des programmes de certification, d'inspections systématiques et de surveillance des transporteurs aériens;
- des ressources au niveau de l'organisation et du personnel permettant de mettre en œuvre et de faire appliquer les éléments qui précèdent.

En 1996, la FAA a déterminé que la GCAA entrerait dans la catégorie 1.

Le 2 juin 2003, la FAA a autorisé MK Airlines Limited à desservir les États-Unis en lui délivrant la spécification d'exploitation ZM0F869F. Dans le cadre de la surveillance exercée par la FAA, les avions de MK Airlines Limited ont fait l'objet d'inspections périodiques au sol. En juillet 2004, la compagnie aérienne MK Airlines Limited a été placée sur la liste des transporteurs aériens devant faire l'objet d'une attention particulière. Cette liste est publiée deux fois par an pour indiquer les transporteurs aériens étrangers qu'il convient de surveiller plus étroitement. Cette liste comprend également les transporteurs des pays entrant dans la catégorie 1 et pour lesquels la FAA a des préoccupations. En septembre 2004, au terme d'une inspection au sol d'un avion de MK Airlines Limited, la décision a été prise d'exercer une surveillance plus étroite des activités de la compagnie. Par la suite, une inspection au sol d'un DC-8 de MK Airlines Limited aux États-Unis, effectuée à la suite de l'accident survenu à Halifax, ayant révélé plusieurs anomalies, la FAA a informé MK Airlines Limited le 29 octobre 2004 que sa spécification d'exploitation avait été annulée; aucune raison précise n'a été donnée.

En décembre 2004, la FAA a procédé à une évaluation de la GCAA et, le 30 avril 2005, elle a annoncé publiquement que le Ghana ne respectait pas les normes de l'OACI. En conséquence, le Ghana a été rétrogradé en catégorie 2.

1.17.5 *La Civil Aviation Authority du Royaume-Uni*

Le ministère des Transports du Royaume-Uni délivre à une compagnie aérienne étrangère un permis lui permettant de desservir le Royaume-Uni, à condition que cette compagnie possède toutes les autorisations nécessaires de son autorité de réglementation. Si le ministère a des raisons de croire qu'une compagnie ou un aéronef ne respecte pas les normes internationales, il peut prendre des dispositions pour faire inspecter l'aéronef de cette compagnie par la CAA. Et si la CAA découvre un point qui retient son attention, elle le fait savoir, selon le cas, à l'équipage de conduite, à la compagnie aérienne et/ou à l'autorité étrangère. Le ministère fait confiance au pays d'immatriculation pour exercer une surveillance efficace et permanente de la compagnie. Le ministère des Transports avait délivré des permis à MK Airlines Limited et, avant le présent accident, la CAA du Royaume-Uni avait effectué un certain nombre d'inspections au sol de MK Airlines Limited, lesquelles n'avaient abouti à aucune constatation importante.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Logiciel pour ordinateur portable de Boeing (BLT)

1.18.1.1 Introduction

Au moment de l'accident, MK Airlines Limited utilisait le BLT pour le calcul des performances. Le BLT est une application logicielle basée sur Microsoft Windows® qui sert à calculer les données de performance au décollage, les données de performance à l'atterrissage, ainsi que les données de masse et centrage (Figure 2). Les données de performance qui se trouvent dans le logiciel sont la version numérisée du manuel de vol approuvé du B747.

Figure 2. Page du BLT pour le calcul des performances de décollage et d'atterrissage

Les données de masse et centrage étaient fournies et intégrées dans le logiciel par MK Airlines Limited, et Boeing assurait la formation à l'administrateur système de MK Airlines Limited. Il incombait à l'administrateur système du BLT de MK Airlines Limited d'implanter la page de masse et centrage spécifique à chaque avion et de fournir la base de données des aéroports pour le BLT. Boeing n'avait ni approuvé ni examiné le travail accompli par l'administrateur de la compagnie au niveau de la page de masse et centrage du BLT. L'administrateur de la compagnie avait la possibilité de verrouiller la page de masse et centrage dans le BLT pour empêcher les équipages de conduite de s'en servir, mais MK Airlines Limited avait choisi de ne pas verrouiller cette page pour qu'il soit possible de contre-vérifier les données de cette page

avec les calculs du manuel du responsable du chargement. De plus, MK Airlines Limited recevait un guide de l'administrateur à jour comprenant des instructions complètes ainsi que les dernières révisions du logiciel.

Au moment de l'accident, la version en vigueur était la version 2.69r du logiciel en date du 24 mai 2004. Chaque B747 de la flotte de MK Airlines Limited avait été équipé d'un ordinateur portable muni d'un écran tactile et d'une imprimante qui se trouvait au pont supérieur. Le logiciel BLT installé dans chaque ordinateur portable était spécifique à chaque avion, compte tenu des différences au niveau des moteurs et des données de masse et centrage de chaque avion.

La fonction de masse et centrage du logiciel BLT permettait à l'utilisateur de faire des calculs de base de masse et centrage, comme le calcul du réglage de compensation des stabilisateurs au décollage. Il s'agissait là d'une option du logiciel que MK Airlines Limited avait activée.

Pour accéder aux données de masse et centrage, l'utilisateur appuie sur une touche à usage spécifique de l'écran de dialogue principal, et la page sommaire de masse et centrage s'affiche. L'utilisateur peut entrer le poids des passagers, la masse des diverses zones de fret ainsi que le carburant pour le vol. Une fois ces renseignements entrés, la masse au décollage et à l'atterrissage tenant compte de ces chiffres est mise à jour en bas de la page sommaire. Une fois cette mise à jour effectuée, la masse estimée au décollage revient dans le champ de l'écran de dialogue principal consacré à la masse prévue et va prendre automatiquement la place de toute autre entrée figurant dans le champ de la masse prévue, sans que l'utilisateur en soit avisé.

1.18.1.2 Formation des équipages de MK Airlines Limited à l'utilisation du BLT

Quand la version bêta¹⁹ du BLT de MK Airlines Limited a été prête, le service technologie de l'information (TI) et le service de formation sur B747 ont commencé les essais à l'interne, se servant de la section des performances du manuel de vol pour contre-vérifier les renseignements du BLT en utilisant des altitudes, des températures et des aéroports représentatifs. Des différences ont été constatées et corrigées en liaison avec Boeing. Par la suite, le BLT a été transmis aux instructeurs du service de formation sur B747 pour qu'ils commencent à enseigner aux équipages comment utiliser ce logiciel. Les équipages de conduite ont reçu de l'information sur le BLT sous la forme de bulletins et d'avis aux équipages de conduite.

¹⁹ La version bêta est la version du logiciel qui sert aux essais opérationnels avant le lancement officiel du logiciel.

Le 9 février 2004, le chef instructeur sur B747 de MK Airlines Limited a envoyé un avis aux équipages de conduite de B747, ainsi qu'aux responsables du chargement, à propos du BLT. On pouvait y lire ce qui suit :

[Traduction]

Veillez trouver ci-joint les pages de la section des performances ainsi que les pages pertinentes du QRH. Veuillez prendre le temps de les étudier d'ici à ce que le programme BLT soit chargé dans les ordinateurs de bord. Le BLT va finir par remplacer les tableaux d'analyse d'aéroport²⁰.

À l'avis aux équipages de conduite était joint un manuel détaillé de 46 pages qui expliquait comment se servir du BLT pour calculer les données de performance, ce manuel constituant par ailleurs une modification à la section 4 Performances de la partie B du manuel d'exploitation de la compagnie consacrée aux B747-200. Les pilotes devaient lire la documentation d'auto-apprentissage et on les incitait à s'exercer à utiliser l'ordinateur portable à bord de chaque avion. Si les pilotes avaient des questions ou des commentaires à formuler à propos du BLT, ils devaient les faire parvenir à la compagnie. Les commandants de bord chargés de la formation en ligne dispensaient une certaine formation, et certains équipages ont reçu leur formation au BLT pendant leur entraînement périodique en vol à Landhurst.

La plupart des membres d'équipage de conduite de MK Airlines Limited n'ont reçu aucune formation en bonne et due forme sur la façon d'utiliser le BLT, et il n'y avait aucune méthode permettant d'évaluer et d'indiquer si les personnes concernées savaient utiliser correctement le BLT à la fin de leur période d'auto-apprentissage. Le service de formation et le personnel de gestion de la compagnie savaient que certains pilotes n'étaient pas à l'aise avec les ordinateurs personnels. Aucune formation supplémentaire sur les ordinateurs en général n'a été offerte aux équipages de conduite. Toutefois, d'après la direction de MK Airlines Limited, aucune demande en ce sens n'a été formulée.

Le manuel de 46 pages du BLT publié le 9 février 2004 renvoie à deux reprises à une propriété du BLT portant sur la boîte de dialogue de la masse prévue apparaissant à la page pour le calcul des performances. Quelle que soit la masse apparaissant dans la boîte de dialogue, elle est remplacée automatiquement par la masse estimée au décollage tirée de la page de masse et centrage, lorsque l'utilisateur passe de la page de masse et centrage à la page pour le calcul des performances. Le 29 mars 2004, MK Airlines Limited a publié un second avis aux équipages de conduite de la flotte de B747 pour les informer que le logiciel BLT avait été installé dans tous les ordinateurs des avions et que son utilisation était approuvée pour calculer les données de performance.

Cet avis de deux pages demandait aux équipages de suivre les procédures écrites pour remplir les cartes des paramètres de décollage. La première page donnait des instructions aux pilotes, tandis que la seconde comportait des instructions destinées aux responsables du chargement. Les instructions aux responsables du chargement stipulaient ce qui suit : [Traduction] « Une fois

²⁰ Par souci de clarté et d'uniformité, le présent rapport parle de « tableaux d'analyse de piste » plutôt que de « tableaux d'analyse d'aéroport ».

la page de masse et centrage fermée, c'est la masse au décollage indiquée dans la page de masse et centrage qui va alors apparaître dans la case de la masse au décollage prévue ». Il n'était nullement fait mention de cette caractéristique dans les instructions destinées aux pilotes.

L'avis demandait également aux membres d'équipage de conduite de prendre le temps de lire le manuel du BLT. Il n'a pas été possible d'établir si l'équipage de conduite de l'avion accidenté avait lu le manuel du BLT publié en février ou s'il avait lu les instructions simplifiées publiées en mars. D'après d'autres équipages de conduite de MK Airlines Limited, le commandant de bord en fonction n'était pas à l'aise avec le BLT, mais le copilote avait été vu en train de se servir du BLT.

Le 12 août 2004, MK Airlines Limited a publié un avis aux équipages de conduite qui stipulait :

[Traduction]

Les tableaux d'analyse d'aéroport (de piste) vont être retirés des bibliothèques de bord dans un avenir rapproché. Tous les calculs de performance devront être faits à l'aide du BLT. Dans le cas peu probable où les ordinateurs contenant le BLT viendraient à ne plus fonctionner, veuillez revenir au volume 2 pour faire les calculs et assurez-vous d'utiliser une carte des paramètres de décollage MAX THRUST (poussée maximale).

1.18.1.3 Données de performance calculées par le BLT

À l'ouverture du BLT, la page d'introduction du logiciel présente à l'utilisateur deux options de réglage pour calculer les données de performance au décollage : puissance de décollage maximale faisant appel aux performances des moteurs JT9D-7Q en fonction de l'immatriculation de l'avion (9G-MKJ); ou bien, puissance détarée/régime II (RTG II) faisant appel aux performances certifiées des moteurs JT9D-7 sans injection d'eau au régime II.

Après avoir choisi l'écran correspondant au régime de puissance approprié, l'utilisateur entre l'information sur l'aéroport et sur la météo. Il sélectionne ensuite la touche de calcul, et le BLT indique la masse maximale au décollage à partir de cette piste ainsi que le réglage EPR permettant aux moteurs de l'avion de fournir une poussée maximale à ce régime de puissance. Les données de performance pour un décollage à poussée maximale sont affichées dans le coin supérieur droit de l'écran, tandis que les données de performance pour un décollage à poussée réduite apparaissent dans le coin inférieur droit de ce même écran. Les données de performance affichées sur le côté droit de l'écran indiquent également la masse de l'avion sur laquelle se basent ces données. L'utilisateur transfère alors les données appropriées sur une carte des paramètres de décollage (Figure 3).

1.18.1.4 Masse maximale autorisée au décollage à Halifax

D'après les conditions météo qui régnaient à l'aéroport international de Halifax au moment de l'accident et pour un décollage à partir de la piste 24, le BLT aurait dû indiquer une masse maximale de 355 230 kg pour un décollage à poussée maximale (pour un avion propulsé par

des moteurs JT9D-7Q) et une masse maximale de 321 580 kg pour un décollage au régime II. La masse maximale pour un décollage à poussée réduite (pour un avion propulsé par des moteurs JT9D-7Q) aurait été de 346 513 kg, cette masse maximale passant à 315 058 kg pour un décollage à poussée réduite au régime II.

1.18.1.5 Données de performance au décollage à Halifax calculées par le BLT

La page du BLT pour le calcul des performances de décollage aurait dû indiquer une masse au décollage de 350 698 kg (masse provenant du devis de masse et centrage laissé par l'équipage de conduite). À la poussée maximale, le réglage EPR aurait dû être de 1,60 et les vitesses de décollage auraient dû être les suivantes : V1 (vitesse de décision au décollage) de 149 nœuds, Vr (vitesse de rotation) de 161 nœuds et V2 (vitesse de sécurité au décollage) de 171 nœuds. À cette masse, le BLT n'aurait pas pu fournir des données de performance pour un décollage à poussée réduite, réglage EPR compris.

La page du BLT pour le calcul des performances de décollage aurait dû indiquer, à une masse au décollage de 353 800 kg (la masse réelle estimée) et à une poussée maximale, un EPR de 1,60, avec les vitesses de décollage suivantes : V1 de 150 nœuds, Vr de 162 nœuds et V2 de 172 nœuds. À cette masse, le BLT n'aurait pas pu fournir des données de performance pour un décollage à poussée réduite, EPR compris. Le manuel de vol de l'avion donne des résultats comparables.

Si l'option de régime II avait été choisie, toute entrée supérieure à 321 580 kg dans la case réservée à la masse prévue aurait entraîné l'affichage du message d'avertissement suivant : [Traduction] « La masse prévue dépasse la masse maximale autorisée au décollage fixée à 321 580 kg ».

Un EPR de 1,33 aurait pu être obtenu à l'aide du BLT et d'une poussée réduite de régime II à une masse minimale de 285 000 kg. À cette masse, les vitesses de décollage auraient été les suivantes : V1 de 137 nœuds, Vr de 145 nœuds et V2 de 151 nœuds.

1.18.1.6 Données de performance au décollage à Bradley calculées par le BLT

D'après les conditions météo qui régnaient au moment du décollage de l'avion sur la piste 06 de l'aéroport international Bradley, la page du BLT pour le calcul des performances de décollage aurait dû indiquer, pour une masse au décollage de 239 783 kg, avec utilisation de la poussée réduite au régime II, un EPR de 1,30 et les vitesses de décollage suivantes : V1 de 128 nœuds, Vr de 128 nœuds et V2 de 137 nœuds.

1.18.1.7 Données de performance au décollage à Halifax calculées par le BLT à partir de la masse à Bradley

D'après les conditions météo qui régnaient à l'aéroport international de Halifax au moment du décollage de l'avion sur la piste 24 et en prenant une masse au décollage de 239 783 kg, la page du BLT pour le calcul des performances de décollage (Figure 6) aurait dû indiquer ce qui suit :

Moteur	Poussée	EPR	V1	Vr	V2
JT9D-7Q	Maximale	1,60	130	130	145
JT9D-7Q	Réduite	1,40	130	130	137
JT9D-7 (sans injection d'eau)	Maximale	1,43	120	124	138
JT9D-7 (sans injection d'eau)	Réduite	1,30	123	129	137

1.18.1.8 Données de performance à l'atterrissage à Halifax

La masse de l'avion à l'aéroport international de Halifax était de quelque 227 000 kg. D'après les conditions météo qui régnaient à l'aéroport au moment de l'atterrissage sur la piste 24, le BLT indiquait que l'avion devait avoir une vitesse de référence à l'atterrissage (V_{ref})²¹ de 133 nœuds. Conformément à la séquence normale de sortie des volets de MK Airlines Limited, les curseurs de vitesse auraient dû être réglés comme suit :

Type de curseur	Plastique	Plastique	Plastique	Plastique	Directive vitesse	Plastique double pour V_{ref} *
Position sur l'anémomètre (KIAS)	213	193	173	153	Vitesse cible	133
Braquage des volets	0	1	5	10	S/O	30

* La vitesse varie en fonction du braquage des volets à l'atterrissage.

²¹ V_{ref} est la vitesse minimale à une hauteur de 50 pieds lors d'un atterrissage normal. Elle est égale à 1,3 fois la vitesse de décrochage en configuration d'atterrissage, volets braqués à fond.

1.18.1.9 Approbation réglementaire des systèmes informatisés de calcul des performances

Le paragraphe 9.3.1.13 des GCAR de 2002 exige que les titulaires de certificat d'exploitation aérienne possèdent un manuel de planification des performances contenant suffisamment de renseignements pour calculer avec précision les performances de l'avion pour toutes les phases normales de vol. Le document approuvé par la GCAA était le volume 2 du manuel de vol du B747. En 2000, MK Airlines Limited avait choisi d'utiliser les tableaux d'analyse de piste créés à partir du logiciel d'analyse des décollages normalisés de Boeing appelé STAS pour *Standard Take-off Analysis Software*. En 2004, MK Airlines Limited a adopté le BLT pour le calcul des performances de décollage de ses avions.

Les GCAA ne contiennent ni règlement ni norme spécifique traitant de l'utilisation de dispositifs de calcul des performances des avions faisant appel à un organisateur électronique de poste de pilotage (OEPP) portable ou fixe. La FAA a publié une circulaire consultative (AC 120-76A) qui offre un moyen acceptable permettant aux exploitants des États-Unis de faire certifier et approuver l'utilisation opérationnelle des OEPP. Les autorités européennes de régulation de l'aviation civile (la Joint Aviation Authority ou JAA) utilisent un document d'orientation similaire pour l'approbation des OEPP dans leurs pays membres et ont publié à cet effet un petit guide temporaire intitulé *Guidance Leaflet No. 36 : Approval of Electronic Flight Bags (EFBs)* qui est un guide sur l'approbation des organisateurs électroniques de poste de pilotage (OEPP). MK Airlines Limited possédait cette circulaire consultative et ce guide lorsque le BLT et les cartes électroniques d'approche et d'aérodrome de Jeppesen (JeppView®) sont arrivés dans le service des opérations de MK Airlines Limited. Conformément à la circulaire consultative et au guide mentionnés ci-dessus, le BLT et le JeppView® étaient considérés respectivement comme des OEPP de classe I et de classe II.

De plus, conformément à ces documents d'orientation, les applications logicielles de type B n'exigent pas d'approbation de conception mais simplement l'approbation de l'inspecteur principal. Ces documents indiquent que, avant qu'un exploitant introduise et utilise des OEPP dans le poste de pilotage de ses avions, il doit obtenir une approbation opérationnelle de l'autorité réglementaire. Cette approbation opérationnelle obligatoire comprend les procédures d'exploitation, les modules de formation pertinents, les listes de vérifications, les manuels d'exploitation, les manuels de formation, les programmes de maintenance, les MEL, les autres documents pertinents et les procédures de compte rendu.

Ces documents d'orientation prévoyaient également une période d'évaluation opérationnelle de six mois au cours de laquelle tant l'OEPP que les copies papier devaient être utilisés, avant que l'instance de réglementation puisse envisager une approbation finale du système. MK Airlines Limited a procédé à une évaluation opérationnelle de six mois au cours de laquelle elle a utilisé le BLT et les tableaux d'analyse de piste. La circulaire consultative et le guide d'orientation mentionnaient qu'il serait bon que, avant toute approbation finale, l'exploitant prouve à l'instance de réglementation qu'il s'est penché sur les facteurs humains inhérents aux OEPP.

Ces documents d'orientation précisaient ce qui suit :

[Traduction]

Les caractéristiques d'un OEPP en matière de facteurs humains et d'interface avec les pilotes devraient démontrer que le système d'exploitation de l'OEPP et les applications logicielles qu'il héberge respectent les critères de la fonction appropriée prévue et ne donnent pas de renseignements erronés ou dangereusement trompeurs. L'ensemble devrait être conçu de manière à minimiser la possibilité et les effets d'une erreur de l'équipage de conduite et maximiser l'identification et la résolution des erreurs; de plus, les conséquences des erreurs passées inaperçues dans toutes les applications d'un OEPP devraient être évaluées pour chaque application. L'évaluation devrait aussi s'intéresser aux effets des erreurs (de procédure) des équipages de conduite déterminés grâce aux commentaires de pilotes de la communauté professionnelle.

Il n'y avait aucune indication d'approbation opérationnelle du BLT dans les dossiers de la GCAA, pas plus qu'il n'y avait de révision de la partie A ou de la partie D du manuel d'exploitation de MK Airlines Limited décrivant le BLT. MK Airlines Limited avait toutefois publié un certain nombre d'avis aux équipages de conduite donnant des instructions sur la façon d'utiliser le BLT.

1.18.2 Références paramétriques

1.18.2.1 Cartes des paramètres

MK Airlines Limited utilise deux sortes de carte des paramètres de décollage, une pour les décollages à poussée maximale imprimée sur du papier blanc (Figure 3), et une autre pour les décollages à poussée réduite imprimée sur du papier jaune. La carte des paramètres de décollage comprend l'information ATIS et celle relative aux

Figure 3. Carte des paramètres de décollage de MK Airlines Limited

performances. Les équipages de conduite étaient tenus de transposer les données du BLT sur la carte des paramètres de décollage.

Une option du BLT permet d'imprimer une carte en T de Boeing de type standard, laquelle contient toutes les données de performance au décollage et peut servir de carte des paramètres de décollage. La direction de MK Airlines Limited a tenu plusieurs réunions pour discuter de l'utilisation de la carte en T de Boeing (Figure 4) plutôt que de la carte des paramètres de décollage standard utilisée par la compagnie. Finalement, il a été décidé de s'en tenir aux cartes des paramètres de décollage de la compagnie, décision qu'appuyait énergiquement le service de formation. L'un des points de discussion portait sur le risque d'erreur au moment de la transposition des données du BLT sur les cartes des paramètres de la compagnie. Le service de technologie de l'information a offert de préparer des formulaires pré-imprimés reprenant le style des cartes des paramètres de décollage de MK Airlines Limited qui auraient permis d'imprimer les données du BLT sur les formulaires; toutefois, cette suggestion a été rejetée.

9G-MKJ RTG II		
NORMAL		REDUCED
1.43	EPR	EPR 1.30
20	FLAPS	136 kt V _{REF}
STAB TRIM	V ₁ 123 kt	
	V _R 129 kt	
	V ₂ 137 kt	
ZFW _____	FUEL _____	T/O WT 239780 kg
OAT 10 °C	QNH 29.67 in Hg	CG _____
FLT/TRIP NO. _____	MKA1602	DATE _____

Figure 4. Carte en T de Boeing

Figure 4. Carte en T de Boeing

1.18.2.2 Curseurs placés sur les instruments

L'anémomètre sur le tableau de bord des deux pilotes possède six indicateurs (curseurs) en plastique blanc sur la couronne extérieure de l'instrument, lesquels peuvent être placés à divers endroits par le pilote. L'anémomètre est également doté d'un curseur intérieur appelé curseur de directive de vitesse, lequel est réglé à l'aide de la molette de sélection de vitesse des auto-manettes qui se trouve sur l'auvent du pilote. Le curseur de directive de vitesse est réglé à V₂ au décollage (Figure 5) et, en approche, il sert à indiquer la vitesse cible actuelle.

Pour rappeler aux pilotes leurs réglages EPR cibles, un curseur intérieur mobile est pré-réglé sur chacun des quatre indicateurs EPR qui se trouvent sur le tableau central des instruments de bord des pilotes (Figure 5). Ces indicateurs peuvent fonctionner en mode manuel ou en mode automatique. En mode manuel, on tire sur le bouton de réglage et un drapeau M remplace le chiffre de gauche dans la fenêtre supérieure. Le curseur et les chiffres de la fenêtre supérieure réagissent à la rotation du bouton de réglage. En mode automatique, le bouton est enfoncé,

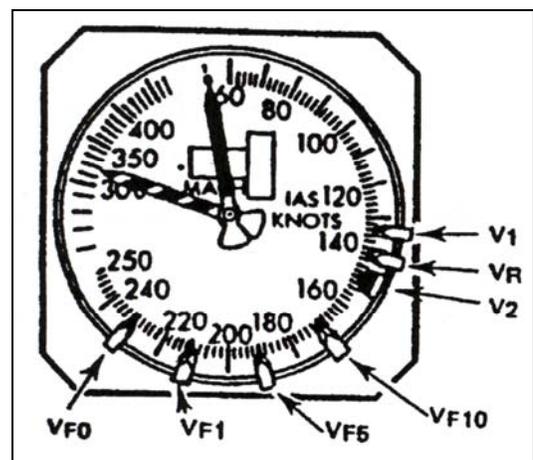


Figure 5. Exemple de réglage des curseurs au décollage

le drapeau M est invisible et le curseur et les chiffres de la fenêtre supérieure réagissent au sélecteur de mode TAT/EPRL (température vraie de l'air/limite de rapport de pression moteur)²². Les EPR de montée et de remise des gaz sont tirés du QRH de MK Airlines Limited et transposés sur la carte des paramètres de décollage.

1.18.2.3 Vérification des erreurs grossières

MK Airlines Limited avait conçu une procédure appelée « vérification des erreurs grossières ». Cette procédure servait à contre-vérifier l'exactitude des vitesses de décollage par rapport aux données de performance au décollage calculées par le BLT. La procédure de MK Airlines Limited prévoyait ceci quant à la façon de procéder au moment de la vérification du tableau de bord des pilotes : [Traduction] « Les pilotes doivent régler les curseurs de Vr et de V2 de l'anémomètre en utilisant les vitesses tirées de la carte en croisière à haute altitude (FL280-FL430). Les curseurs pour le décollage doivent être réglés avant de commencer la vérification de manière à pouvoir effectuer la vérification sans interruption (volume 3, partie 1, page 3.20.24) ». Le tableau ci-après est extrait de la carte en question et présente diverses vitesses Vr/V2 à différents braquages de volets et réglages de poussée :

Poussée	Volets	Vr/V2	
		350 tonnes	240 tonnes
JT9D-7Q	10°	167/179	131/151
JT9D-7Q	20°	160/172	131/151
Régime II	10°	171/172	129/145
Régime II	20°	165/171	124/137

En prenant le régime I avec les volets sortis à 20° et une masse de 350 tonnes (chiffre le plus proche de la masse prévue à l'aéroport international de Halifax, l'équipage aurait obtenu, au moment de la vérification des erreurs grossières, une Vr de 160 nœuds et une V2 de 172 nœuds. Une comparaison avec les résultats générés par le BLT pour une masse de 350 tonnes (Vr de 161 nœuds et V2 de 171 nœuds) aurait montré des chiffres suffisamment proches pour confirmer leur validité.

Pour une vérification d'erreurs grossières, les curseurs de vitesse doivent être réglés à partir de la carte en croisière à haute altitude afin d'indiquer la Vr et la V2. Le premier curseur est réglé à 12 heures, le suivant à 100 nœuds et les deux curseurs suivants aux positions appropriées de Vr et V2, selon les renseignements tirés de la carte en croisière à haute altitude. Dans le cas du décollage ayant mené à l'accident, les curseurs auraient dû être réglés à 12 heures, 100, 160 et 172 nœuds.

²² Le système TAT/EPRL calcule l'EPR limite en fonction du régime du moteur et du mode choisi.

1.18.2.4 Feuilles de planification du chargement

MK Airlines Limited utilisait une feuille de planification du chargement de la compagnie que les responsables du chargement devaient remplir manuellement avant chaque vol. Les responsables du chargement suivaient une formation leur apprenant comment remplir ces feuilles et comment répartir les charges de manière à ce que la masse et le centrage des avions restent dans les limites permises. Certains responsables du chargement de MK Airlines Limited préféraient utiliser une version électronique qui avait été mise au point pour un autre exploitant et modifiée pour la flotte de B747 de MK Airlines Limited. Cette version électronique n'avait jamais été officiellement approuvée par la compagnie, mais la compagnie savait qu'elle était utilisée depuis environ deux ans et demi au moment de l'accident. Beaucoup de discussions avaient eu lieu au sein de la compagnie à propos de l'utilisation et de l'approbation de la feuille électronique de planification du chargement, mais il n'y avait jamais eu d'approbation officielle.

1.18.3 Manuel d'exploitation de MK Airlines Limited

Le manuel d'exploitation était un mélange de renseignements provenant des *Joint Aviation Requirements* (exigences communes en matière d'aviation ou JAR) et des volumes du manuel de vol de l'avion, avec des renvois à d'autres documents. Il était subdivisé en quatre parties : les généralités et les notions de base (partie A); les procédures d'utilisation de l'avion (partie B); le guide de vol avec les voies aériennes et les aéroports (partie C); et la formation (partie D). La partie B reprenait essentiellement le manuel de vol de l'avion, lequel avait été adapté de façon à répondre aux SOP de la compagnie. MK Airlines Limited avait converti les SOP du DC-8 du manuel de vol en une partie B; toutefois, les SOP du B747 n'avaient pas de partie B; à la place, c'est une version des volumes du manuel de vol qui était utilisée. Les SOP du B747 se trouvaient à la partie 1 du volume 3 du manuel de vol, ce qui équivalait à une partie B. En octobre 1999, le service de formation de MK Airlines Limited avait publié un bulletin introduisant la partie 1 du volume 3. Le bulletin indiquait que la partie 1 du volume 3 deviendrait plus tard la partie B de manière à ce que les SOP s'alignent sur les JAR. Au moment de l'accident, cela n'avait toujours pas été fait.

En février 2004, la compagnie a publié un avis aux équipages de conduite faisant état d'une modification à la section 4 Performances de la partie B du manuel d'exploitation de la compagnie consacrée aux Boeing 747-200. Ce document de 46 pages était un manuel détaillé portant sur l'utilisation du BLT pour calculer les données de performance. Huit pages du document avaient une date d'entrée en vigueur fixée au 22 septembre 2003 et un numéro de révision signalant qu'il s'agissait de la version originale; les 38 autres pages portaient la date d'entrée en vigueur d'avril 2002²³ et le numéro de révision numéro 006. Des avis aux équipages de conduite venaient compléter le manuel d'exploitation. Chaque avis demeurait en vigueur jusqu'à ce que sa période de validité ait expiré, qu'il soit annulé par la direction, qu'il se soit écoulé six mois ou que le manuel soit modifié. Il y avait plusieurs avis aux équipages de conduite datant de plus de six mois qui auraient dû être incorporés dans le manuel d'exploitation mais qui ne l'avaient pas été. De plus, il y avait des renvois réciproques du manuel d'exploitation aux avis aux équipages de conduite, et vice versa. Par exemple, la

²³ La date d'avril 2002 figurait sur le document, mais il s'agissait d'un oubli fortuit dans la mise à jour.

section 4 Performances de la partie 1 du volume 3, stipulait : [Traduction] « Voir le guide des performances du BLT dans l'avis aux équipages de conduite ». Toutefois, dans l'avis aux équipages de conduite, on renvoie à la partie B du manuel d'exploitation.

Conformément au paragraphe 9.3.1.2 des GCAR, le titulaire d'un certificat d'exploitation aérienne doit fournir aux membres d'équipage de conduite un manuel d'exploitation que la GCAA juge acceptable, en plus de tenir le manuel à jour. Le manuel d'exploitation doit contenir les procédures et les politiques de la compagnie visant à aider et à guider le personnel dans l'exécution de ses tâches. Le paragraphe 9.3.1.2 des GCAR prévoit aussi qu'il est interdit à une personne de donner à ses employés pour qu'ils l'utilisent dans le cadre d'opérations commerciales de transport aérien, un manuel d'exploitation, en tout ou en partie, qui n'aurait pas été examiné et jugé acceptable ou approuvé par l'autorité pour le compte du titulaire du certificat d'exploitation aérienne.

Conformément à la partie 0.2.1 de la section 0 du manuel d'exploitation, chaque fois que la compagnie voulait modifier le document, la proposition devait être envoyée au directeur responsable de MK Airlines Limited sur un formulaire de proposition de modification. Si la modification était approuvée à l'interne par le directeur responsable, elle devait alors être envoyée à tous les titulaires du manuel, y compris à la GCAA. Tous les titulaires du manuel étaient tenus de renvoyer un coupon prouvant qu'ils avaient bien reçu et incorporé la révision dans leur manuel. Après réception du coupon retourné par la GCAA, MK Airlines Limited estimait que la modification était officiellement approuvée par la GCAA.

1.18.4 *Procédures de préparation et de vérification des données de performance*

Les paragraphes ci-après décrivent les procédures qu'auraient normalement dû suivre les membres d'équipage de conduite pendant l'approche, l'atterrissage, l'escale et le décollage à l'aéroport international de Halifax. Elles respectent les SOP, les manuels et les avis aux équipages de conduite de la compagnie qui étaient en vigueur au moment de l'accident.

Pendant le vol entre l'aéroport international Bradley et l'aéroport international de Halifax, le responsable du chargement aurait normalement dû calculer le plan de chargement pour l'étape suivante (de Halifax à Saragosse). La procédure de la compagnie prévoyait l'utilisation de la feuille de planification du chargement; toutefois, une pratique acceptée dans la compagnie permettait au responsable du chargement d'utiliser le logiciel de planification du chargement de son propre ordinateur personnel pour calculer le plan de chargement. Ensuite, le responsable du chargement aurait dû entrer les données de masse et centrage dans la page sommaire de masse et centrage du BLT. Pendant la descente et l'approche sur l'aéroport international de Halifax, le pilote non aux commandes aurait dû écouter le message ATIS (information Victor) et inscrire les renseignements sur la carte des paramètres d'atterrissage. Puis, le mécanicien navigant aurait dû ajouter sur cette carte la bonne masse à l'atterrissage et une Vref de quelque 133 nœuds. Le commandant de bord et le copilote auraient ensuite dû régler les curseurs de leurs anémomètres en prévision de l'atterrissage.

Une fois les moteurs coupés après l'atterrissage, les tâches après vol auraient dû comprendre le rassemblement de tous les documents pour le vol entre l'aéroport international Bradley et l'aéroport international de Halifax pour les placer dans une enveloppe d'expédition. En prévision du vol de Halifax à Saragosse, le copilote aurait dû prendre l'information ATIS la plus récente et inscrire les renseignements sur la carte des paramètres de décollage. Le copilote aurait ensuite dû obtenir la masse prévue au décollage tirée du plan de vol (353 310 kg) et inscrire 353 sur une carte des paramètres de décollage de couleur blanche. Une carte blanche aurait dû être utilisée, car il fallait utiliser la poussée maximale pour décoller à cette masse de la piste 24. Le copilote aurait ensuite dû extraire la vitesse minimale de contrôle au sol (Vmcg) du QRH et inscrire ce renseignement sur la carte des paramètres de décollage.

Le copilote aurait ensuite dû se rendre à l'ordinateur portable de la compagnie qui se trouvait dans le poste de repos au pont supérieur (Photo 7) et ouvrir le programme BLT. Comme le BLT gardait par défaut l'information utilisée précédemment et que le décollage à l'aéroport international Bradley avait été fait à puissance réduite de régime II, cela signifie que c'est l'option régime II qui aurait dû être affichée dans la fenêtre. Le copilote aurait ensuite dû utiliser les menus déroulants pour insérer à la page pour le calcul des performances l'information sur l'aéroport, la piste, l'état de la piste, l'utilisation des prélèvements d'air (toujours sur OFF par défaut), l'utilisation ou non de l'antivibrage et le braquage optimal des volets. Comme l'avion ne présentait aucune défectuosité et qu'il n'y avait aucun NOTAM (avis aux aviateurs) pour l'aéroport international de Halifax, le copilote aurait dû passer à l'étape suivante. En l'absence de masse prévue



Photo 7. Configuration du pont supérieur

inscrite dans la case pertinente, une masse maximale au décollage de 321 580 kg aurait dû être générée, une fois la fonction de calcul sélectionnée. Du fait que la masse maximale au décollage calculée par le BLT pour le régime II aurait dû être inférieure à la masse prévue au décollage, le copilote aurait dû être obligé de retourner à l'icône du BLT et sélectionner la poussée maximale (régime 7Q).

Le copilote aurait ensuite dû vérifier que l'information ATIS et les données entrées précédemment dans le BLT étaient les mêmes, puis appuyer sur la touche de calcul. Ce dernier calcul aurait dû donner une masse maximale au décollage de 355 230 kg, ce qui était acceptable, puisque la masse prévue au décollage était inférieure à la masse maximale autorisée pour la piste 24. Le copilote aurait ensuite dû inscrire la masse réelle au décollage (353 pour 353 000 kg) dans la case de la masse prévue et appuyer sur la touche de calcul.

Les vitesses pour la poussée maximale au décollage devaient apparaître du côté droit de la page. Les vitesses à poussée réduite (température assumée) ne devaient pas apparaître du côté droit de la page, car la masse de l'avion avoisinait la masse maximale permise. Le copilote aurait dû transcrire les vitesses suivantes : V1 de 151 nœuds, Vr de 162 nœuds et V2 de 173 nœuds sur la carte des paramètres de décollage avant d'effacer la masse réelle au décollage de la case réservée à la masse prévue. Si le responsable du chargement avait entré de l'information sur le chargement dans le BLT, un réglage de compensation des stabilisateurs de 5 ¾ unités se serait affiché du côté droit de la page.

Ensuite, le copilote aurait dû donner la carte des paramètres de décollage au commandant de bord qui aurait dû contre-vérifier toute l'information ATIS et l'information sur l'état de la piste inscrites par le copilote et calculer la masse maximale au décollage. Par la suite, le commandant de bord aurait dû entrer 353 dans la case de la masse prévue et appuyer sur la touche de calcul, puis il aurait dû contre-vérifier les vitesses inscrites par le copilote sur la carte des paramètres de décollage. Cette carte aurait alors dû être apportée dans le poste de pilotage et être laissée sur le bloc manettes jusqu'au début de la vérification du poste de pilotage.

Avant le début de la vérification du poste de pilotage, le commandant de bord ou le copilote aurait dû se servir de la carte des données en croisière à haute altitude pour obtenir les vitesses Vr et V2 pour la vérification des erreurs grossières. De plus, en prévision du décollage, il aurait dû régler les curseurs comme suit : curseur de V1 à 100 nœuds, curseur de Vr à 160 nœuds et curseur de directive V2 à 172 nœuds. Pendant que le commandant de bord et le copilote faisaient leur vérification du poste de pilotage, le mécanicien navigant devait s'acquitter de ses tâches avant le vol et devait contre-vérifier (par rapport à la feuille de chargement) la répartition de la charge de carburant, les indicateurs de quantité de carburant et l'indicateur de la masse totale de carburant. Le mécanicien navigant aurait également dû régler la masse brute calculée sur l'indicateur de masse totale de son propre tableau de bord.

Après avoir effectué les vérifications avant le démarrage et, immédiatement avant les vérifications au démarrage et au refoulement, le commandant de bord aurait dû signer la feuille de chargement et le devis de masse et centrage. Il aurait également dû vérifier que la masse au décollage et la répartition du chargement étaient dans les limites permises, et il aurait dû transcrire sur la carte des paramètres de décollage le chiffre calculé pour le réglage de compensation des stabilisateurs figurant sur le devis de masse et centrage. Conformément aux SOP de la compagnie, du fait que la masse réelle au décollage devait être à moins de 3000 kg de la masse estimée au décollage, il n'aurait pas dû être nécessaire de reprendre les vitesses de décollage.

Le réglage des curseurs de vitesse et EPR aurait alors dû être vérifié par rapport aux vitesses indiquées sur la carte des paramètres de décollage. Les erreurs grossières devant être flagrantes, les corrections auraient été faites s'il y avait lieu, puis les curseurs auraient été placés aux bons réglages des vitesses (V) de décollage et EPR. Le copilote aurait dû annoncer le régime utilisé (poussée maximale ou réduite) et signaler toute modification de l'état de la surface depuis la préparation de la carte des paramètres de décollage. Un exposé de départ aurait dû être effectué avant le démarrage des moteurs et le refoulement, à moins que des facteurs opérationnels n'aient empêché de le faire à ce moment-là.

Au cours de la procédure de roulage vers la piste, le copilote aurait dû mettre le levier des volets à 20°, régler le compensateur des stabilisateurs à 5,8 unités et confirmer que les paramètres de décollage étaient vérifiés et affichés. Si les paramètres de décollage n'avaient pas déjà été vérifiés et affichés, le commandant de bord aurait alors dû confirmer la piste en service et la V2 pendant les réponses aux questions de la liste de vérifications. Si les paramètres de décollage n'avaient pas encore été affichés ou s'ils avaient été modifiés, tous les réglages auraient dû être demandés et affichés à ce moment-là.

Au moment du décollage, les manettes des gaz auraient dû être poussées jusqu'à un EPR de 1,10, la stabilité et la symétrie des indications des moteurs auraient dû être vérifiées, puis les manettes auraient dû être poussées à un EPR d'environ 1,20 et la poussée maximale²⁴ aurait dû être demandée. Le mécanicien navigant aurait dû afficher la poussée maximale correspondant à un EPR de 1,60 avant que l'avion n'atteigne 80 nœuds. Le pilote non aux commandes aurait dû annoncer V1 à 151 nœuds et Vr à 162 nœuds. Le pilote aux commandes devait entreprendre à Vr une rotation continue et sans à-coup vers l'assiette cible d'environ 12° en cabré. Peu de temps après, le train d'atterrissage aurait dû être rentré et les groupes de conditionnement d'air auraient dû être mis en marche, puis la transition vers le départ et la montée en route aurait dû avoir lieu.

1.18.5 Périodes de repos, temps de service et temps de vol

1.18.5.1 Périodes de repos, temps de service et temps de vol de MK Airlines Limited

Conformément aux exigences des GCAR de 1995 qui étaient en vigueur au moment de l'accident, la compagnie avait prévu dans son manuel d'exploitation un régime de périodes de repos, de temps de service et de temps de vol. La version de 2002 des GCAR avait été rédigée mais n'avait pas encore force de loi. La GCAA avait demandé à MK Airlines Limited de se conformer à la version 2002 alors que, dans les faits, la compagnie était simplement tenue de respecter la réglementation de 1995.

En matière de périodes de repos, de temps de service et de temps de vol, les GCAR de 1995 étaient beaucoup moins explicites que la réglementation de 2002. Dans la réglementation de 2002, les dispositions relatives aux périodes de repos, au temps de service et au temps de vol étaient complètes et permettaient de recourir à des régimes spéciaux de temps de service de vol qui pouvaient être approuvés par la GCAA. La partie A de la section 7 du manuel d'exploitation de MK Airlines Limited contenait le régime de périodes de repos, de temps de service et de temps de vol, où il était énoncé que ledit régime avait été approuvé par l'autorité compétente et que tous les vols devaient être planifiés conformément à ce régime.

La révision 003 de la partie A de la section 7 du manuel d'exploitation de MK Airlines Limited, en vigueur à compter du 11 février 2000, indiquait que la période maximale de service permise pour un équipage renforcé était de 20 heures, le temps de vol maximal étant par ailleurs de

²⁴ Les SOP de MK Airlines Limited exigeaient de demander la puissance maximale, quel que soit le régime de poussée utilisé.

16 heures, ce qui était conforme aux deux versions de 1995 et de 2002 des GCAR. D'après la définition de la révision 003, un équipage renforcé était composé de deux commandants de bord, de deux copilotes et de deux mécaniciens navigants. Toutefois, la section 4.1, composition des équipages, du manuel d'exploitation indiquait qu'un équipage renforcé était composé de trois pilotes et de deux mécaniciens navigants, contrairement à la section 7. La pratique courante était d'assigner trois pilotes, et non pas quatre.

La révision 011 du manuel d'exploitation modifiant le régime de temps de vol et de temps de service était entrée en vigueur le 23 septembre 2002, et c'est ce régime qui était appliqué au moment de l'accident. Dans cette révision, le temps de service maximal d'un équipage de conduite renforcé effectuant de 1 à 4 secteurs avait été augmenté à 24 heures, le temps de vol maximal étant fixé à 18 heures. De plus, la définition d'équipage renforcé avait été révisée et prévoyait maintenant trois pilotes et deux mécaniciens navigants. La compagnie a indiqué que cette réduction du nombre de pilotes avait pour objet d'assurer la cohérence avec la section 4.1 du manuel d'exploitation et avec la pratique habituelle de la compagnie. La modification avait été envoyée à tous les titulaires du manuel, y compris à la GCAA. Cette dernière n'a trouvé aucune indication de la réception de cette modification. Les fichiers électroniques de MK Airlines Limited indiquaient que la GCAA avait reçu la modification.

1.18.5.2 Périodes de repos, temps de service et temps de vol prévus par d'autres autorités de l'aviation civile

Le supplément A de la première partie de l'Annexe 6 de l'OACI donne des indications sur les limitations du temps de vol et de la période de service de vol. L'OACI précise que ces limitations « sont établies à seule fin de réduire la probabilité d'une fatigue des membres d'équipage de conduite qui pourrait compromettre la sécurité des vols. » On y décrit « deux types différents de fatigue : la fatigue temporaire et la fatigue accumulée. » La fatigue temporaire (ou aiguë²⁵) est « la fatigue qu'éprouve normalement un individu après une période de travail, de tension physique ou nerveuse et qui disparaît normalement après une période suffisante de sommeil. » « La fatigue accumulée peut se produire à la suite d'une fatigue temporaire, si le repos est retardé ou insuffisant, ou encore comme conséquence d'une somme de travail, de tension physique [. . .] dépassant la normale, sans que le sujet ait pu récupérer suffisamment. » Les limitations de temps de vol et de temps de service de vol sont là pour protéger contre ces deux types de fatigue, car elles permettent de limiter le temps de vol ainsi que le temps de service au sol avant un vol ou pendant les escales s'il s'agit d'une série de vols.

En vertu du régime en vigueur chez MK Airlines Limited au moment de l'accident, la limite du temps de service d'un équipage renforcé composé de trois pilotes pour effectuer quatre secteurs était fixée à 24 heures. À titre de comparaison, les points qui suivent donnent un aperçu, pour quelques pays, des limites maximales de temps de vol et de temps de service applicables à l'équipage renforcé (composé de trois pilotes) d'un avion cargo qui suivrait le même itinéraire et disposerait du même type de poste de repos que celui dont était équipé l'avion immatriculé 9G-MKJ :

²⁵

Le BST parle plus volontiers de « fatigue aiguë ».

- Canada – Le temps de service maximal permis pour un équipage renforcé de trois pilotes est de 20 heures consécutives, le temps de service maximal dans le poste de pilotage étant par ailleurs de 14 heures pour tous les membres d'équipage de conduite; de plus, le vol ne peut comporter plus de trois secteurs.
- États-Unis – Pas plus de 18 heures de service dans le cas d'un équipage composé de trois pilotes, et pas plus de 12 heures de vol.
- Royaume-Uni – Le temps de service maximal permis pour un équipage renforcé composé de trois pilotes est de 18 heures.
- Italie – Après l'accident, on a constaté que le régime approuvé des limites de temps de service d'une compagnie italienne permettait à un équipage renforcé composé de trois pilotes à bord d'un avion équipé d'un système de navigation par inertie d'effectuer un temps de service maximal de 24 heures et au plus 6 secteurs.

1.18.5.3 Temps de service de l'équipage de MKA1602

L'équipage du vol MKA1602 devait remplir une mission exigeant un temps de service de 24 heures et demie²⁶. MK Airlines Limited était en contravention avec son propre manuel d'exploitation pour avoir planifié un vol d'une durée supérieure à 24 heures, tout comme l'équipage de conduite était en contravention pour avoir accepté un vol qui dépassait le temps de service maximal permis. Au moment de l'accident, l'équipage de conduite (les commandants de bord, le copilote et les mécaniciens navigants) étaient en service depuis près de 19 heures. Toutefois, compte tenu des retards pris à l'aéroport de Luxembourg-Findel et à l'aéroport international Bradley, l'équipage aurait probablement été en service depuis quelque 30 heures à sa destination finale (l'aéroport de Luxembourg-Findel), si les autres vols s'étaient déroulés sans encombre. Les fiches d'hôtel et de téléphone à l'aéroport de Luxembourg-Findel indiquent que certains membres de l'équipage s'étaient peut-être réveillés très tôt le matin. D'après les comptes rendus de mission, le responsable du chargement et le technicien au sol étaient en service depuis 45 heures et demi.

Le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited indiquait que [Traduction] « tous les vols sont planifiés conformément aux limites des régimes approuvés de périodes de repos, de temps de service et de temps de vol de la compagnie ». L'examen des périodes de service prévues de tous les vols MKA1601 et MKA1602 antérieurs révèle que quelque 71 % de ces vols ont été planifiés avec un temps de service dépassant 24 heures, la moyenne étant de 24,37 heures. La direction de la compagnie a déclaré ne pas être au courant de cet état de chose. La GCAA n'avait pas décelé ces dépassements pendant ses opérations de surveillance de la compagnie.

Le manuel d'exploitation de MK Airlines Limited indiquait également ce qui suit : [Traduction] « il se peut que, en cas de circonstances imprévues, les vols dépassent les limites de temps de vol et de temps de service qui sont prescrites » et, de plus, « la compagnie devrait aussi

²⁶ Conformément au manuel d'exploitation de MK Airlines Limited, la période de service débute une heure avant l'heure prévue de départ prévue et se termine 15 minutes après l'arrivée sur l'aire de stationnement.

surveiller ces dépassements imprévus sur une base saisonnière trimestrielle et ne pas permettre que plus de 25 % des vols effectués sur une route spécifique pendant une saison se traduisent par des dépassements, auquel cas il faudra revoir la composition des équipages pour ce vol ou cette route ». L'examen des périodes de service réelles des vols MKA1601 et MK1602 révèle que ces vols ont dépassé 24 heures dans 95 % des cas, la durée moyenne s'établissant à 26,85 heures. La direction de la compagnie était au courant des dépassements. La GCAA n'avait pas non plus décelé ces dépassements pendant ses opérations de surveillance de la compagnie.

Le commandant de bord de MKA1601 a écrit ce qui suit dans la fiche de compte rendu de mission de la compagnie :

[Traduction]

D'après la documentation, le temps de service nécessaire pour effectuer ce vol est de 24 heures et 30 minutes. Si l'on s'en tient à la partie A(7), le temps de service maximal est de 24 heures. Dans le cas présent, il a été demandé à l'équipage de prendre son service à 1200Z, alors que le départ n'a finalement eu lieu qu'à 1600Z. Serait-il possible de faire quelque chose pour remédier aux retards systématiques à LUX du vol vers l'aéroport Bradley (comme nettoyer les palettes et appeler l'équipage quand l'avion est prêt)?

1.18.5.4 Effets physiologiques de la fatigue

La fatigue est un état physiologique qui se traduit par une diminution du rendement et de la vigilance. Le manque de sommeil ou le sommeil non réparateur ainsi que la perturbation du rythme circadien sont deux sources de fatigue. De nombreuses enquêtes sur des accidents industriels ont révélé que les horaires de travail irréguliers, les périodes de service prolongées, ainsi que les périodes de travail et de repos perturbées avaient été des facteurs contributifs.

La recherche porte à croire qu'il est impossible d'emmagasiner du sommeil. Lorsqu'une personne est éveillée, le besoin de sommeil croît progressivement, même si la personne était bien reposée au début du cycle d'éveil. La plupart des personnes ont besoin de sept heures et demie à huit heures et demie de sommeil par jour. Le besoin de sommeil réapparaît au bout de 15 à 16 heures d'éveil, même chez une personne bien reposée. La personne qui ne dort pas assez pour ses besoins en vient à souffrir d'un manque de sommeil et risque de voir son rendement se détériorer.

La personne fatiguée est portée à oublier de faire les vérifications ou à décider de ne pas les faire, ou à ne pas suivre les procédures. Elle est également portée à reprendre ses anciennes habitudes et peut mal se rappeler les événements. Elle peut être moins attentive, c'est-à-dire qu'elle peut être portée à oublier ou à intervertir des éléments de tâche séquentiels, à se concentrer sur une tâche au détriment d'une autre et à être moins vigilante. La personne moins vigilante parce qu'elle est fatiguée est portée à se concentrer sur un problème mineur (même si un problème majeur est susceptible de se poser), à ne pas bien prévoir les dangers et à avoir un comportement automatique. Son habileté à résoudre les problèmes peut également en souffrir, et un manque de jugement peut l'amener à poser des gestes inappropriés.

1.18.5.5 Gestion de la fatigue

En vertu du régime de temps de vol et de temps de service adopté par MK Airlines Limited, il fallait un équipage renforcé de trois pilotes pour effectuer une période de service maximale de 24 heures. En général, cet équipage renforcé se composait d'un commandant de bord et de deux copilotes, ou de deux commandants de bord et d'un copilote. Seuls les commandants de bord instructeurs supervisant les vols en ligne des pilotes nouvellement promus commandants de bord sont qualifiés en place droite; ce qui signifie que, pendant la plupart des vols, le copilote doit être en place droite pendant la totalité des décollages et des atterrissages. Il en résulte une situation où l'un des membres d'équipage de première importance (le seul commandant de bord ou le seul copilote de l'équipage) doit être à son poste au moment de tous les décollages et de tous les atterrissages. De plus, cette personne se trouve confrontée à une perturbation de ses cycles de repos ou de sommeil.

Le poste de repos de l'avion immatriculé 9G-MKJ comprenait une cabine pour le commandant de bord, deux couchettes et deux sièges de première classe (Photo 8). Le commandant de bord et le copilote en fonction auraient eu l'occasion de dormir à bord de l'avion pendant le trajet entre l'aéroport de Luxembourg-Findel et l'aéroport international Bradley. Toutefois, des membres d'équipages de conduite de MK Airlines Limited ont indiqué que, à cause de l'heure du jour, ils arrivaient rarement à dormir durant la première étape des vols MKA1601 et MKA1602. Ils ont précisé qu'ils commençaient à ressentir les effets de la fatigue au cours de l'escale à l'aéroport international de Halifax et qu'ils tentaient de faire une petite sieste quand la durée de l'escale le permettait. L'envie de dormir se fait sentir à cette étape du vol car elle correspond à la période où l'on estime que le rythme circadien d'un membre d'équipage est à son plus bas. Dans le cas du vol de l'accident, compte tenu du retard enregistré au départ à l'aéroport de Luxembourg-Findel, le point le plus bas du rythme circadien aurait dû être atteint quelque part entre l'aéroport international Bradley et l'aéroport international de Halifax. Des membres d'équipage ont également indiqué qu'en règle générale, ils arrivaient à dormir plusieurs heures pendant le vol entre Halifax et Saragosse.



Photo 8. Poste de repos de l'équipage au niveau du pont supérieur

Dormir dans l'avion, tant au sol que dans les airs, était une pratique courante au sein de la compagnie pour gérer la fatigue. Le paragraphe 8.3.10.1 du manuel d'exploitation de la compagnie permettait à un membre d'équipage de conduite de quitter le poste qui lui avait été assigné, pour une raison et pendant une durée précises pendant le vol de croisière, après avoir obtenu la permission du commandant de bord. Au cours d'une inspection en vol faite par la GCAA avec un équipage non renforcé, le copilote avait quitté son poste pendant une heure et demie et le commandant de bord avait quitté le sien pendant trois heures pour aller dormir. Le fait que les équipages avaient l'habitude de dormir ou de faire une sieste en vol et pendant les escales indique qu'ils savaient qu'ils étaient vulnérables à la fatigue et qu'ils faisaient de leur mieux pour diminuer les risques de fatigue.

La version de 2002 des GCAR en vigueur depuis novembre 2004 exige que les membres d'équipage restent à leur poste pendant toutes les phases de vol. Ils ne peuvent s'absenter que si cela est nécessaire pour l'exécution de leurs fonctions ou pour satisfaire des besoins physiologiques, et à condition qu'un pilote qualifié reste aux commandes en tout temps. Ils peuvent également s'absenter pour se reposer, à condition qu'un membre d'équipage de relève qualifié prenne leur place au poste qu'ils occupaient.

Les techniciens au sol et les responsables du chargement de MK Airlines Limited n'étaient assujettis à aucune limite de temps de service, car il n'y avait ni règles internes, ni droit du travail ni règlement aéronautique traitant de leur temps de service. Il a été établi que ces personnes pouvaient passer jusqu'à sept jours à bord d'un aéronef. Les temps de service effectués par le technicien au sol de MK1601 et de MK1602 en septembre 2004 ont été examinés, et les dossiers ont montré qu'il avait travaillé 24 jours sur 30, dont 19 à bord d'un avion, la période d'affilée la plus longue allant du 6 au 13 septembre 2004. De plus, le technicien au sol avait effectué quelques jours de maintenance en ligne dans les ateliers de maintenance de Luxembourg et de Johannesburg en Afrique du Sud. Le travail effectué par les techniciens du chargement est important car une erreur de leur part liée à la fatigue pourrait facilement engendrer un accident.

1.18.6 *Accidents et incidents antérieurs de MK Airlines Limited*

L'accident du vol MKA1602 est le quatrième accident majeur de la compagnie depuis 1992. Les trois accidents antérieurs sont survenus au Nigeria, et très peu de renseignements étaient disponibles au sujet des deux premiers.

Le ministre de l'Aviation de la République fédérale du Nigeria a produit un rapport de l'aviation civile (FMA/AIPB/389) sur le troisième accident de la compagnie qui est survenu à Port Harcourt et a fait un mort. L'examen de ce rapport et de l'information obtenue d'autres sources indique que le pilote aux commandes a effectué une approche non standard au pilote automatique. Il a suivi en rapprochement le radial d'un radiophare d'alignement de piste et a effectué la descente en mode de vitesse verticale. La politique de MK Airlines Limited prévoyait de ne pas utiliser le pilote automatique au-dessous de 2000 pieds agl. Il y avait d'autres indications de non-respect des procédures, comme l'absence des annonces appropriées entre le pilote aux commandes et le pilote non aux commandes. Un manque de conscience de la situation résultant d'une mauvaise coordination dans le poste de pilotage était évident et il y a eu un problème d'interprétation des références visuelles en approche.

De plus, la compagnie avait désigné Port Harcourt comme un aéroport de catégorie B. D'après le paragraphe 8.1.2.5 de la partie A du manuel d'exploitation de MK Airlines Limited, un aéroport de catégorie B oblige le commandant de bord à effectuer l'approche du fait de considérations comme des aides à l'approche et/ou des circuits d'approche non standard; des conditions météorologiques locales inhabituelles, des caractéristiques inhabituelles ou des limites de performance, ou d'autres facteurs pertinents comme des obstacles, l'agencement physique ou le balisage lumineux de l'aéroport, etc. Au moment de l'accident, c'est le copilote qui effectuait l'approche.

Il convient également de s'attarder sur les faits entourant un incident lié aux performances de décollage survenu le 18 juillet 2002 à un B747-200 de MK Airlines Limited à Sapporo au Japon. Le copilote avait rempli la carte des paramètres de décollage en se servant des tableaux d'analyse de piste pour la piste que l'avion devait utiliser. Le commandant de bord a vérifié la carte et n'a rien trouvé d'anormal. La masse au décollage indiquée sur la carte était de 258 000 kg, alors que la masse réelle de l'avion était de 358 000 kg. Les vitesses pour la vérification des erreurs grossières avaient été réglées en fonction d'une masse de 258 000 kg. Le responsable du chargement a présenté la feuille de chargement au commandant de bord pour qu'il la vérifie, et ce dernier l'a signée. La feuille indiquait 358 000 kg, mais la différence de masse est passée inaperçue. Les vitesses et les EPR ont été réglés en fonction d'une masse de 258 000 kg. Au début de la course au décollage, l'équipage de conduite a constaté que l'avion n'accélérait pas normalement et il a interrompu le décollage à une vitesse comprise entre 30 et 40 nœuds. L'erreur a été décelée lors de l'examen de la carte des paramètres de décollage, et une nouvelle carte des paramètres de décollage a été remplie avec la masse réelle de l'avion. Le décollage s'est alors déroulé sans autre incident.

1.18.7 *Gestion des risques au sein d'une organisation*

Dans son livre *Managing the Risks of Organizational Accidents* publié chez Ashgate Publishing Limited en 1997, James Reason²⁷ décrit les défis que doivent relever les compagnies au quotidien dans leur recherche d'équilibre entre les priorités de la production (effectuer des vols) et celles de la protection (la sécurité), ce qui est d'autant plus vrai pendant les périodes de croissance. Quand une compagnie aérienne prend de l'expansion et que son niveau de production augmente, en règle générale les risques inhérents à ses activités de production augmentent, ce qui contraint la compagnie à augmenter son niveau de protection. Cette protection peut prendre diverses formes, comme le développement d'une bonne infrastructure au sein de la compagnie, qu'il s'agisse de logistique, de formation, d'installations, d'équipement ou encore de programmes d'assurance de la qualité et de sécurité.

Alors que la compagnie prenait de l'expansion, la direction de MK Airlines Limited travaillait activement à l'amélioration de l'infrastructure de la compagnie; toutefois, durant cette même période, on relève un manque de personnel de gestion, une supervision insuffisante, des prises fréquentes de libertés et des cas de non-respect des procédures par les employés et les superviseurs quand cela était jugé nécessaire pour répondre aux besoins opérationnels. Les quatre accidents survenus à cette compagnie sont des signes importants de protection insuffisante.

Voici un extrait du livre de James Reason :

[Traduction]

Malgré les fréquentes protestations à l'effet du contraire, production et protection sont rarement sur le même pied d'égalité, et l'un des deux processus finit par dominer en fonction des circonstances environnantes. Comme c'est la production qui génère les ressources rendant la protection

²⁷ Le professeur James Reason est une sommité mondiale dans le domaine de la compréhension des erreurs humaines.

possible, ses besoins vont généralement prévaloir dans la plus grande partie de la vie d'une organisation. Cela est dû en partie au fait que ceux qui gèrent l'organisation ont des compétences en production plutôt qu'en protection, et en partie au fait que l'information relative à la production est directe, continue et facile à comprendre. Par opposition, une protection couronnée de succès se traduit par l'absence de résultats négatifs. L'information qui s'y rattache est donc indirecte et discontinue. Les mesures qui entrent en jeu sont difficiles à interpréter en plus d'être souvent trompeuses.

Tout gestionnaire rationnel reconnaît qu'un certain niveau de protection est nécessaire. De nombreux gestionnaires sont d'accord pour dire que production et protection ne peuvent être dissociées à long terme. C'est dans le court terme que les conflits surviennent. Presque chaque jour, les gestionnaires et les superviseurs de premier niveau doivent prendre des risques pour respecter les délais ou toute autre exigence opérationnelle. La plupart du temps, de telles libertés n'ont pas de conséquences malheureuses, c'est pourquoi elles risquent de devenir une pratique de travail habituelle. Malheureusement, cette réduction graduelle de la marge de sécurité rend le système d'autant plus vulnérable aux accidents qui résultent de la combinaison de plusieurs facteurs.

1.18.8 Accidents au décollage liés à des performances insuffisantes

Un examen des données sur les incidents et les accidents survenus à de gros avions (d'une masse supérieure à 5700 kg) équipés de turbomoteurs a révélé au moins 12 événements importants où les performances au décollage ont été notablement différentes des performances prévues. Quatre des avions accidentés ont été détruits, causant la mort de 297 personnes.

Dans plusieurs cas, les équipages de conduite ont entrepris le décollage en se basant sur de mauvais paramètres et n'ont pas reconnu l'insuffisance des performances au décollage. Dans les autres cas, les performances au décollage ont été insuffisantes en raison d'un ennui mécanique, d'une mauvaise configuration de l'avion ou de mauvaises indications des instruments. Ces événements ne sont pas limités à un type d'avion ou d'opérations commerciales ni à une région géographique particulière.

Ces événements révèlent un des deux grands problèmes de sécurité sous-jacents suivants ou les deux :

- l'insuffisance ou l'absence de procédure de protection destinée à détecter une erreur dans les données de performance au décollage;
- l'incapacité des équipages à reconnaître des performances anormales après le début de la course au décollage.

L'examen des données a révélé quelques cas représentatifs :

- Le 12 mars 2003 à Auckland en Nouvelle-Zélande, la queue d'un Boeing 747-412 est entrée en contact avec la piste au décollage, et l'avion a quitté le sol juste au-dessus de la vitesse de décrochage (enquête 03-003 de la Nouvelle-Zélande). La cloison étanche arrière a été lourdement endommagée, mais l'équipage a réussi à poser l'avion en toute sécurité. La queue de l'avion est entrée en contact avec la piste parce que l'équipage avait entré dans le système de gestion de vol une masse inférieure de 100 tonnes à la masse réelle de l'avion, ce qui a généré des vitesses de décollage trop basses. L'équipage n'avait effectué aucune contre-vérification des vitesses.
- Le 11 mars 2003 à Johannesburg, la queue d'un Boeing 747-300 a raclé la piste au décollage (rapport d'enquête DCA03WA031 du NTSB). Le mécanicien navigant avait entré dans l'ordinateur portable de calcul des performances la masse sans carburant de 203 580 kg plutôt que la masse au décollage de 324 456 kg, puis il avait transcrit sur les cartes des paramètres de décollage les mauvaises vitesses résultant de ces calculs.
- Le 14 juin 2002 à Francfort en Allemagne, la queue d'un Airbus A330 est entrée en contact avec la piste au décollage parce que des paramètres de décollage erronés avaient été entrés dans le système de gestion de vol. (Rapport d'enquête A02F0069 du BST). L'équipage de conduite ne s'est pas rendu compte du contact de la queue avec la piste, mais il a été prévenu par les services de la circulation aérienne pendant la montée au décollage. La partie inférieure de la queue de l'avion a été lourdement endommagée.
- Le 28 décembre 2001 à Anchorage en Alaska, la queue d'un B747-200 cargo est entrée en contact avec la piste au décollage et a été lourdement endommagée (rapport d'enquête ANC02LA008 du NTSB). L'équipage avait oublié de prendre en compte la masse du carburant additionnel (environ 45 360 kg) pris à Anchorage et s'était servi par inadvertance des cartes des paramètres utilisées pour l'atterrissage précédent. Ce n'est qu'une fois arrivé à destination que l'équipage s'est rendu compte du contact de la queue de l'avion avec la piste.
- Le 13 janvier 1982, un incident est survenu à un Boeing 737-222 qui effectuait un vol régulier entre Washington DC et Fort Lauderdale en Floride. Au décollage, les EPR ont été réglés à 2,04 et, pendant la course au décollage, des lectures anormales des instruments moteurs ont été constatées, mais le commandant de bord a décidé de poursuivre le décollage. Environ 2000 pieds et 15 secondes au-delà du point normal de décollage, l'avion a quitté le sol. Il a pris de l'altitude, mais il n'a pu accélérer. Le vibreur de manche s'est déclenché peu après le décollage et est resté en action jusqu'à ce que l'avion redescende et percute le pont de la 14^e Rue ainsi que plusieurs véhicules avant de plonger dans les eaux glacées du fleuve Potomac. L'enquête a révélé que les sondes de pression d'entrée d'air des moteurs étaient obstruées par de la glace et donnaient des lectures EPR trop élevées. Bilan, 74 des 79 occupants de l'avion ont perdu la vie, ainsi que 4 personnes au sol.

Depuis 1972 au moins, on trouve des recommandations et des initiatives en matière de sécurité censées garantir aux équipages de conduite une méthode fiable leur permettant de déceler des performances de décollage anormales, notamment dans les situations où les performances sont inférieures aux performances nécessaires ou prévues. Malheureusement, il n'existe toujours pas de dispositif fiable dans le poste de pilotage pour alerter l'équipage de conduite en cas de performances anormales au décollage et pour lui permettre d'intervenir à temps.

2.0 *Analyse*

2.1 *Introduction*

Les calculs de performance au décollage effectués par l'équipage de conduite ont donné lieu à une erreur qui a été décelée trop tard pour que l'équipage puisse éviter l'accident. L'analyse qui suit porte sur les événements ayant mené à l'accident ainsi que sur les conditions et/ou les facteurs causals ou contributifs. Nous aborderons également les domaines qui présentaient des risques additionnels et non souhaitables pour le système.

2.2 *Problèmes à l'aéroport international de Halifax*

2.2.1 *Alimentation électrique*

Le circuit électrique du poste d'incendie de l'aéroport international de Halifax était configuré de façon à offrir deux sources distinctes d'alimentation de secours (génératrices) en cas de panne de courant. Toutefois, l'une de ces sources n'a pas fourni d'électricité à cause de l'ouverture du disjoncteur principal, ce qui a empêché certains circuits électriques du poste d'incendie de fonctionner comme prévu. Par conséquent, au début, les pompiers ont dû travailler dans des conditions de très faible luminosité. Cela a causé de la confusion, et les risques de blessures pour les pompiers étaient plus grands. De plus, cela aurait pu retarder l'intervention. L'ancien système de lampes à batterie incorporée, qui avait été enlevé après l'installation des génératrices de secours, aurait permis d'assurer l'éclairage immédiat du dortoir et du garage.

2.2.2 *Carte quadrillée*

Les coordonnées de la carte quadrillée n'ont pas été utilisées pour diriger le personnel des services SLIA de l'aéroport international de Halifax et les autres intervenants. Les conditions météo et la visibilité étaient bonnes, et les premiers intervenants ont pu facilement localiser l'endroit de l'accident. Toutefois, d'autres unités d'intervention ont eu du mal à trouver le lieu exact de l'accident.

Les contrôleurs aidaient régulièrement les pompiers de l'aéroport à utiliser la carte quadrillée, même si les contrôleurs ne sont pas tenus de se servir des coordonnées de la carte quadrillée quand ils dirigent les services SLIA vers le lieu d'un accident. L'utilisation des coordonnées de la carte quadrillée lors d'une urgence permettrait d'éviter la confusion et pourrait réduire le délai d'intervention.

2.2.3 *Occupants de l'avion et marchandises dangereuses à bord*

Au début, les contrôleurs n'ont pas réussi à obtenir l'information nécessaire sur le nombre de personnes à bord de l'avion et sur les marchandises dangereuses à bord. Ce n'est qu'une heure après l'accident que MK Airlines Limited a indiqué le nombre d'occupants et a précisé qu'aucune marchandise dangereuse n'avait été chargée à Halifax. Comme toutes les marchandises dangereuses du vol MKA1602 avaient été chargées à l'escale précédente (l'aéroport international Bradley), personne à Halifax n'avait d'information sur ces marchandises dangereuses. Ce n'est que 10 heures après l'accident que les services SLIA ont reçu la liste des marchandises dangereuses chargées à Bradley. Le fait de ne pas avoir reçu à temps l'information sur les marchandises dangereuses aurait pu compromettre la sécurité du personnel des services SLIA et des autres intervenants. Dans le cas d'un accident qui présente des chances de survie, il est très important que le personnel de secours connaisse le nombre d'occupants de l'aéronef pour mener à bien sa mission.

2.2.4 *Pente de la piste*

Le *Supplément de vol – Canada* et le *Canada Air Pilot* indiquaient à tort que la piste 24 présentait une pente descendante de 0,17 %. Les renseignements sur la pente sont pris en compte lors du calcul des performances de décollage et d'atterrissage. Si les données publiées sur la pente sont erronées, les calculs des performances de l'avion risquent eux aussi d'être erronés. L'enquête n'a pas permis d'établir comment on avait pu arriver au chiffre de 0,17 %. L'information erronée publiée n'a joué aucun rôle dans le calcul des performances de décollage du vol MKA1602.

2.2.5 *Monticule de terre*

NAV CANADA avait obtenu l'approbation nécessaire auprès de Transports Canada pour faire ériger le monticule au bout de la piste 24. Dans le cadre du processus d'approbation, le monticule avait fait l'objet d'une évaluation en matière de franchissement des obstacles conformément à la publication *Aérodromes – Normes et pratiques recommandées* (TP 312) de Transports Canada. Le monticule n'était pas considéré comme un obstacle car il ne pénétrait pas dans la zone dégagée d'obstacles. Les obstacles sont réputés constituer des dangers seulement s'ils ont une incidence sur le profil de montée d'un aéronef qui respecte ses critères de certification.

Il n'existe ni norme ni pratique recommandée traitant de la construction et de l'évaluation des risques que présentent les monticules ou d'autres objets fixes situés dans les aires de prolongement de piste, à moins qu'ils ne constituent un obstacle ou qu'ils aient un impact sur une aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA) existante. Transports Canada considère la RESA seulement comme une pratique recommandée, alors que pour l'OACI, il s'agit d'une norme obligatoire. Aucune RESA n'était publiée pour la piste 06/24 de l'aéroport international de Halifax. Les monticules des radiophares d'alignement de piste de l'ILS étaient tous les deux situés au-delà des distances minimales recommandées des RESA.

2.2.6 *Communications radio*

Les divers appareils de communication que le personnel de secours a essayé d'utiliser sur les lieux de l'accident et entre les lieux de l'accident et d'autres endroits n'ont pas permis d'établir des communications fiables. Ces problèmes de communication ont gêné la coordination de l'intervention et, dans d'autres circonstances, ils auraient pu retarder une tentative de sauvetage ou l'évacuation d'un blessé.

2.3 *Masse et centrage*

La masse opérationnelle à vide de l'avion ne comprenait pas le matériel des membres d'équipage ni l'équipement d'exploitation transporté à bord. Par conséquent, chaque fois qu'un devis de masse et centrage était rempli pour l'avion, l'équipage ne savait pas que la masse réelle de l'appareil était supérieure de 1120 kg à la masse calculée. Cela aurait pu se traduire, dans certains cas, par un dépassement de la masse maximale autorisée au décollage ou de la masse maximale autorisée à l'atterrissage.

L'agent de manutention du fret à l'aéroport international de Halifax ne disposait pas des installations nécessaires pour peser les palettes complètes qui étaient fournies par d'autres, et comme le manifeste fourni par le transitaire était réputé exact, il en est résulté une feuille de calcul du manifeste de chargement erronée. Du fait qu'on n'a pas vérifié la masse du fret à Halifax, la masse supplémentaire des traîneaux en bois n'a pas été prise en compte, ce qui aurait également pu contribuer à une surcharge de l'avion. De plus, toute erreur non décelée dans la masse du chargement risque de nuire aux performances de l'avion et de causer un accident. Dans le cas qui nous occupe, la masse et le centrage de l'avion se trouvaient toujours dans les limites permises au décollage à l'aéroport international de Halifax.

Au moment de l'accident, MK Airlines Limited savait que certains responsables du chargement utilisaient une version électronique non approuvée de la feuille de planification du chargement depuis deux ans et demie environ. La compagnie n'avait pas interdit aux responsables du chargement d'utiliser ce logiciel, même si on n'avait jamais vérifié que le logiciel et la base de données étaient exempts d'erreurs. Par conséquent, il y avait risque que le chargement d'un avion soit mal réparti sans que l'équipage le sache. Cet exemple montre que la compagnie n'exerçait pas une surveillance suffisante pour corriger une situation connue concernant l'adaptation des procédures de la compagnie par les équipages de conduite.

2.4 *MK Airlines Limited*

2.4.1 *Expansion de MK Airlines Limited*

MK Airlines Limited avait connu une croissance importante rapide depuis qu'elle avait ouvert ses portes. Son succès commercial et l'expansion subséquente avaient sollicité davantage son infrastructure. L'ajout du B747 avait sérieusement compliqué la tâche du service de formation, compte tenu des exigences en matière de fourniture d'équipages de conduite qualifiés auxquelles ce service était confronté. Simultanément, le taux de roulement des membres d'équipage de conduite était plus élevé du fait que des employés se trouvaient des emplois plus

intéressants ailleurs. En outre, la politique de la compagnie qui consistait à recruter son personnel en Afrique australe limitait le bassin des nouveaux membres d'équipage potentiels. Ces trois facteurs ont contribué au fait que les membres d'équipage de conduite étaient en nombre insuffisant pour répondre aux besoins en matière de transport aérien ou de productivité. Cette pénurie de membres d'équipage a augmenté le risque d'une plus grande fatigue et d'un plus grand stress au sein du personnel.

2.4.2 *Périodes de repos, temps de service et temps de vol*

Même si le manuel d'exploitation mentionnait qu'il ne fallait pas planifier des vols dépassant 24 heures, le service chargé de la composition des équipages de MK Airlines Limited prévoyait régulièrement des vols dépassant cette limite. Il n'y avait aucun véritable programme en place capable de surveiller la fréquence de ces dépassements de limite, pas plus qu'il n'y avait de programme visant à déceler et à surveiller les dépassements des temps de service. En l'absence de toute mesure corrective suffisante de la compagnie face à ces dépassements, les équipages avaient élaboré des stratégies d'atténuation des risques, comme des siestes en vol et au sol permettant de composer avec les temps de service plus longs. Ce non-respect systématique du manuel d'exploitation a créé un environnement où certains employés et la direction de la compagnie ont fini par trouver acceptables de s'écarter des politiques et/ou des procédures de la compagnie quand ils le jugeaient nécessaire pour effectuer un vol ou une série de vols.

Il existe des limites de temps raisonnables au-delà desquelles un équipage de conduite ne peut rester en service sans que la fatigue aiguë commence à nuire au rendement. Pareil phénomène est indépendant de la composition de l'équipage et de la qualité du poste de repos à bord de l'avion. L'examen des antécédents de l'équipage en matière de travail, de repos, de sommeil et de temps de service a montré que, en raison de la fatigue, l'équipage en fonction devait se trouver à son niveau de rendement le plus bas à son arrivée à Halifax ou peu de temps après. Cette fatigue pourrait avoir incité l'équipage à prendre des libertés avec les procédures et avoir diminué sa conscience de la situation. L'équipage se trouvait fort probablement dans cet état quand les données de performance au décollage ont été calculées, que les SOP avant le vol n'ont pas été suivies et que les mauvaises données de performance au décollage sont passées inaperçues.

En vertu du régime de temps de vol et de temps de service de la compagnie, il était possible de planifier des vols pouvant durer jusqu'à 24 heures avec seulement trois pilotes à bord. Cela signifiait que l'équipage comprenait soit un seul commandant de bord, soit un seul copilote. Comme la plupart des membres d'équipage n'étaient qualifiés qu'en place gauche ou qu'en place droite, deux des pilotes assignés devaient être présents pour la totalité des décollages, des départs, des arrivées et des atterrissages de l'ensemble de la mission. Il en résultait que l'unique commandant de bord ou l'unique copilote était astreint à un temps de service dans le poste de pilotage d'une durée disproportionnée, ce qui le rendait plus vulnérable à la fatigue. Pour cette série de vols, c'est le copilote qui était le membre d'équipage le plus exposé à cet égard.

Le copilote avait quitté son hôtel à Luxembourg à 9 h 25 le 13 octobre, mais on sait qu'il s'était réveillé avant 8 h 48, peut-être vers 6 h 30 ou 7 h. Il est probable qu'il a quitté le poste de pilotage pendant quelques heures pendant le premier vol, mais il est peu probable qu'il ait dormi ou qu'il se soit vraiment reposé à cause des effets du rythme circadien. Comme l'ont

indiqué d'autres équipages de conduite de MK Airlines Limited, il n'est pas facile de se reposer pendant le vol vers l'aéroport international Bradley en raison de l'heure du jour. Le vol entre Bradley et Halifax a duré une heure et neuf minutes, et la présence du copilote était requise dans le poste de pilotage pendant ce vol. Par conséquent, le copilote était probablement le plus fatigué des pilotes.

L'avion a passé une heure et quarante-deux minutes au sol à l'aéroport international de Halifax. Pendant ce temps, du personnel au sol a remarqué à deux reprises que le copilote n'était pas dans le poste de pilotage. Il était fréquent que l'équipage de conduite fasse une sieste ou se repose quand l'escale était suffisamment longue. Le copilote a probablement fait une sieste entre le moment du calcul des performances de décollage et le moment où sa présence a de nouveau été indispensable dans le poste de pilotage pour le départ.

Si le copilote a réussi à dormir pendant l'escale à Halifax, il a dû être sujet à une certaine forme d'inertie due au sommeil dans les 10 à 15 minutes qui ont suivi son réveil. Par conséquent, il a dû être moins vigilant que d'habitude quand il s'est installé dans le poste de pilotage, période pendant laquelle les données de performance ont dû être réglées à partir de la carte des paramètres de décollage. De plus, à supposer que le commandant de bord ait effectué quelques tâches du copilote avant le vol pour lui permettre de dormir, cela aurait éloigné davantage le copilote de l'environnement du poste de pilotage et aurait diminué sa conscience de la situation.

Au jour de l'accident, le régime des périodes de repos, du temps de service et du temps de vol de MK Airlines Limited était l'un des moins restrictifs parmi les États signataires de l'OACI. En augmentant de 20 à 24 heures le temps de service des équipages renforcés, la compagnie a également augmenté les risques de fatigue.

2.4.3 *Gestion des risques exercée par la compagnie MK Airlines Limited*

Les équipages de conduite de MK Airlines Limited se rendaient souvent à des aéroports aux installations réduites et étaient fréquemment confrontés à des retards et à des problèmes d'équipement, en plus d'être affectés à de longues périodes de service en ne pouvant souvent compter que sur des postes de repos limités à bord des avions. Beaucoup de membres d'équipage, de superviseurs et de gestionnaires étaient habitués à ces difficultés, à ces contraintes et à ces défis à surmonter. La croissance et le succès de la compagnie avaient aussi grandement à voir avec son environnement familial. Malheureusement, certaines des forces propres à un tel environnement faisaient qu'on acceptait de prendre des libertés et de s'écarter des procédures si on estimait que c'était nécessaire. À titre d'exemple, tant la direction que le personnel en ligne acceptaient le non-respect des directives et des procédures.

On acceptait souvent tacitement le fait que les gestionnaires admettaient le non-respect des directives et des procédures de la compagnie, en se disant que cela ne générerait pas de risques indus. Même si trois accidents antérieurs auraient pu servir d'indicateurs de risques importants pour la compagnie, il y avait une sorte d'acceptation générale voulant que la croissance commerciale (la production) soit bien gérée au niveau des risques (la protection).

Plusieurs des normes opérationnelles identifiées étaient, de par leur nature, similaires à celles mentionnées dans le livre de James Reason. Par exemple, la prise de libertés (le non-respect des procédures) était devenue chose courante. Pour Reason, [Traduction] « cette diminution graduelle de la marge de sécurité rend le système d'autant plus vulnérable aux accidents qui résultent de la combinaison de plusieurs facteurs ».

Des SOP sont mises en place pour permettre l'exploitation sûre et efficace des aéronefs, et elles sont réputées être un moyen de protection de première importance pour assurer des résultats sûrs et uniformes au niveau de l'exploitation. Pour l'équipage de conduite de l'avion accidenté, les SOP étaient très importantes pour assurer qu'il n'y avait pas d'erreur dans le calcul des données de performance au décollage et permettre de déceler toute erreur dans les données, avant d'entreprendre le décollage. Comme le montre l'accident, le non-respect des SOP peut avoir des conséquences catastrophiques.

2.4.4 Surveillance réglementaire des opérations de la compagnie

Le manuel d'exploitation de la compagnie qui avait été approuvé par la GCAA décrivait comment la compagnie comptait effectuer ses opérations aériennes en toute sécurité et dans le respect de la réglementation. De nombreux domaines du manuel d'exploitation étaient incomplets, périmés ou insuffisants. De plus, le gestionnaire des opérations avait une tâche si lourde qu'il ne lui était pas toujours possible d'assurer une supervision et une gestion suffisantes au quotidien des opérations aériennes. En raison du caractère familial de l'entreprise, il était parfois difficile d'assurer que le personnel respecte en tout temps les politiques et les procédures de la compagnie.

2.4.5 Introduction du logiciel pour ordinateur portable de Boeing dans la compagnie

Le BLT avait été introduit par MK Airlines Limited sans instructions ni aide ni approbation de la GCAA. Bien que des documents consultatifs et des guides de la FAA et de la JAA aient servi de références, l'introduction s'est faite sans formation ni évaluation suffisantes. La documentation de référence des équipages se présentait sous forme d'auto-apprentissage, et très peu de formation directe était dispensée. De plus, les renseignements du guide figurant dans l'avis aux équipages de conduite en date du 29 mars 2004 ne rappelaient pas spécifiquement aux pilotes que, de retour de la page de masse et centrage, c'est la masse au décollage figurant sur ladite page qui allait s'afficher dans la case de la masse prévue au décollage figurant sur la page pour le calcul des performances. Cette caractéristique a, semble-t-il, été un élément clé dans la production de données de performance au décollage erronées. On ne sait pas si le ou les utilisateurs du BLT dans le cas qui nous occupe connaissaient bien le logiciel, notamment cette caractéristique.

2.5 Surveillance réglementaire de MK Airlines Limited

De façon générale, la GCAA exerçait une surveillance réglementaire limitée de MK Airlines Limited. La capacité de la GCAA d'exercer une surveillance efficace a été compromise quand elle a dû surveiller de façon plus étroite un autre transporteur aérien ghanéen, même si des indicateurs de risques importants avaient été décelés chez MK Airlines Limited, notamment :

- la compagnie avait déjà eu trois accidents;
- elle était en période de croissance continue depuis quelque temps;
- des lacunes avaient été constatées quant au non-respect des politiques du manuel d'exploitation et des SOP.

Le retard à faire approuver la nouvelle réglementation par le Parlement ghanéen et la diversité des opérations de la compagnie gênaient également les activités de surveillance. Il est particulièrement intéressant de noter que les dépassements permanents et importants des temps de vol et de service des équipages de conduite étaient passés inaperçus.

En général, la surveillance réglementaire de MK Airlines Limited effectuée par la GCAA n'était pas suffisante pour permettre de découvrir les cas graves de non-respect des temps de vol et de service, ou encore le non-respect permanent des instructions et des procédures de la compagnie.

2.6 Données de performance au décollage à Halifax

Sans données CVR, il est difficile de savoir précisément pourquoi l'équipage de conduite a utilisé un EPR et une vitesse de rotation aussi faibles; toutefois, une comparaison entre les données de performance au décollage à Bradley et les données de performance au décollage à l'aéroport international de Halifax s'est montrée très révélatrice. La première partie de la présente rubrique examine diverses possibilités, mais ces éléments n'ont probablement joué aucun rôle dans les performances de décollage de l'avion.

Première possibilité : l'équipage de conduite a laissé les curseurs de vitesse aux positions qu'ils occupaient après l'atterrissage à l'aéroport international de Halifax. Si tel avait été le cas, deux curseurs blancs auraient été réglés ensemble à 133 nœuds, semblant ainsi former un seul et même curseur. Le curseur de directive de vitesse aurait été réglé à 143 nœuds, semblant ainsi être le second curseur²⁸. L'équipage de conduite aurait trouvé cela anormal pour un décollage, puisque le curseur de directive de vitesse occupe d'habitude la troisième position, et non pas la deuxième. De plus, au moment de l'annonce de la Vr correspondant au second curseur, le FDR aurait enregistré une rotation de l'avion après 143 nœuds. Or, le FDR indique une rotation à 130 nœuds. Ce scénario est donc peu probable.

²⁸ Dans de rares cas, lorsque l'avion est très léger, il se peut que les curseurs de V1 et de Vr se touchent, car ces deux vitesses sont très proches l'une de l'autre. Toutefois, dans le présent cas, comme l'équipage a déplacé les curseurs EPR, il aurait été naturel de déplacer ceux des anémomètres.

Autre possibilité : l'équipage de conduite s'est servi de la carte des paramètres de décollage utilisée à l'aéroport international Bradley, puisque les réglages de puissance et la vitesse de rotation étaient similaires. Si l'équipage de conduite n'avait pas achevé ses activités après vol à Halifax et n'avait pas mis la carte des paramètres de décollage utilisée à Bradley dans l'enveloppe d'expédition, il lui aurait été possible d'utiliser par erreur la carte des paramètres de décollage utilisée à Bradley. Toutefois, la carte aurait indiqué que la masse était de 240 000 kg et que le réglage du compensateur était de 4,0 unités.

Il est probable que le commandant de bord aurait remarqué la masse plus faible et le réglage différent du compensateur par rapport à ceux utilisés à Halifax quand il a fait une comparaison entre le devis de masse et centrage et la carte des paramètres de décollage. Le réglage du compensateur déterminé par l'équipage à Halifax convenait à la masse réelle de l'avion au décollage à Halifax. Le bon réglage du compensateur pour Halifax a également été confirmé par les données FDR, par l'indicateur d'assiette et par les mesures du vérin à vis du compensateur. Si la carte des paramètres de Bradley avait été utilisée à Halifax, l'équipage de conduite aurait alors dû effacer ou rayer le chiffre correspondant au réglage du compensateur pour Bradley et le remplacer par celui pour Halifax. Ce scénario est donc peu probable.

Si l'équipage de conduite avait rempli une nouvelle carte des paramètres de décollage pour l'aéroport international de Halifax, il aurait eu trois options pour calculer les paramètres de décollage : les tableaux d'analyse de piste, le volume 2 ou le BLT. Comme les tableaux d'analyse de piste avaient été enlevés de tous les avions, ce scénario n'est possible que si l'un des membres d'équipage avait eu ses propres tableaux, ce qui est peu probable. Le tableau des vitesses de décollage du volume 2 ne traite pas du franchissement des obstacles. Si l'équipage avait utilisé le volume 2 pour calculer les vitesses en fonction des obstacles, cela aurait pris du temps, compte tenu du travail nécessaire pour trouver et interpréter la totalité des graphiques, des tableaux et des diagrammes. Si l'équipage avait simplement utilisé le tableau des vitesses de décollage du volume 2, il aurait d'abord inscrit la masse au décollage prévue pour le vol (353 tonnes) sur la carte des paramètres de décollage avant de transcrire une V1 de 150 nœuds, une Vr de 161 nœuds et une V2 de 172 nœuds. De plus, si le volume 2 avait été utilisé, il n'expliquerait pas le réglage EPR à 1,33. Le BLT était en usage depuis plusieurs mois et, d'après l'information recueillie, il servait à calculer les performances de décollage. Par conséquent, il est peu probable que le volume 2 ait été utilisé. L'équipage a fort probablement utilisé le BLT pour les paramètres de décollage. Selon toute vraisemblance, l'erreur dans les données de performance découle d'une mauvaise utilisation ou d'une mauvaise compréhension du BLT.

Divers scénarios peuvent être à l'origine des données erronées. Si l'on part du principe que l'utilisateur a entré correctement l'indicatif de l'aéroport, le numéro de piste et les conditions atmosphériques, le seul élément permettant de déterminer les vitesses V et les réglages EPR est la masse de l'avion utilisée dans la case de la masse prévue. Si l'utilisateur a entré par erreur la masse sans carburant (262 000 kg) ou la masse à l'atterrissage (281 000 kg), les vitesses de rotation auraient été trop élevées par rapport à celles enregistrées par le FDR. Autre possibilité : l'utilisateur aurait pu inscrire par erreur 253 000 kg au lieu de 353 000 kg, mais là encore, cette masse est trop élevée pour la vitesse de rotation enregistrée par le FDR à l'aéroport international de Halifax. Par conséquent, la seule masse qui génère la même vitesse de rotation et les mêmes réglages EPR que ceux enregistrés par le FDR à Halifax est la masse utilisée à Bradley, soit 240 000 kg.

L'utilisateur a probablement transcrit la masse de 353 000 kg du plan de vol sur une carte des paramètres de décollage de couleur blanche. Une fois le programme du BLT lancé, la totalité des anciens réglages, données et autre information provenant de la dernière utilisation ont dû s'afficher dans les divers champs. Le BLT avait été utilisé pour la dernière fois à l'aéroport international Bradley et avait fait appel au régime II. Par conséquent, une fois que l'utilisateur a ouvert le logiciel à la page du régime II, il lui aurait fallu modifier tous les champs pour y indiquer l'indicatif de l'aéroport, la piste et l'information ATIS pour cet aéroport. Si le régime de poussée maximale (moteurs 7Q) avait été choisi, l'EPR le plus bas qu'aurait pu générer le BLT aurait été de 1,40 ; par conséquent, c'est la page du régime II qui doit avoir été utilisée. N'importe quand après, si l'utilisateur a ouvert la page de masse et centrage pour une raison ou une autre puis est retourné à la page pour le calcul des performances de décollage, la boîte de dialogue de la masse prévue aurait alors indiqué la masse au décollage tirée de la page de masse et centrage, soit celle de Bradley (240 000 kg). Si l'utilisateur n'était pas au courant de cette caractéristique ou s'il ne s'est pas aperçu du changement et n'a pas appuyé sur la touche de calcul, les vitesses V et les réglages EPR sont alors restés identiques à ceux pour le décollage à Bradley (Figure 6).

Figure 6. Masse à l'aéroport international Bradley utilisée à l'aéroport international de Halifax

Un programme de formation au BLT plus complet mettant l'accent sur les facteurs humains et sur les risques d'erreurs humaines tels qu'ils étaient décrits dans les documents d'orientation, combiné à une méthode permettant de s'assurer que les personnes ont les compétences nécessaires pour utiliser le logiciel, aurait certainement réduit la possibilité de ce genre d'erreur par l'utilisateur.

Si l'utilisateur a ensuite inscrit sur la carte des paramètres de décollage les données de performance ainsi trouvées accompagnées de la bonne masse prévue au décollage pour Halifax, à savoir 353 000 kg, il est peu probable que l'erreur aurait pu être décelée à ce moment-là. Et pour que l'erreur se rende à l'étape suivante, soit l'autre membre d'équipage n'a pas fait de contre-vérification, soit il a fait une contre-vérification mais a commis la même erreur.

Il est fort peu probable que les deux membres d'équipage aient pu faire la même erreur. Si des vitesses V inexactes ont pu être réglées sur les anémomètres, c'est probablement parce que la vérification des erreurs grossières à la masse prévue de 353 000 kg n'a pas eu lieu, car, dans le cas contraire, l'erreur aurait été découverte. Une fois les curseurs réglés sur les deux anémomètres, les vérifications ultérieures n'auraient fait que valider les mauvais réglages. Si la masse de 353 000 kg avait été inscrite sur la carte, elle aurait confirmé l'exactitude des divers chiffres lorsque le commandant de bord a contre-vérifié et signé le devis de masse et centrage et lorsque le mécanicien navigant a réglé son indicateur de masse totale.

Si la carte en T de Boeing ou une version modifiée de la carte en T avait été utilisée, la masse au décollage ayant servi à générer les données de performance aurait été inscrite sur la carte en T et n'aurait pas coïncidé avec la masse de l'avion calculée par le responsable du chargement indiquée sur le devis de masse et centrage.

2.7 *Non-reconnaissance des performances insuffisantes au décollage*

Le décollage ayant mené à l'accident a été entrepris à un réglage de puissance et à des vitesses de décollage très inférieurs aux réglages nécessaires pour un décollage en toute sécurité. L'annonce normalisée de la compagnie demandant d'afficher la puissance maximale à chaque décollage n'aurait pas donné à l'équipage une occasion supplémentaire d'établir s'il s'agissait de la puissance maximale ou de la puissance réduite. Une fois le décollage entrepris, l'équipage de conduite s'est rendu compte trop tard que les performances de l'avion étaient nettement inférieures aux performances prévues, et il n'a pas pu intervenir à temps pour éviter l'accident.

Plusieurs accidents et incidents aériens similaires ont montré qu'il est déjà arrivé à d'autres équipages dans l'ensemble de l'industrie de ne pas se rendre compte des performances insuffisantes de leur avion au décollage. Certains de ces événements ont occasionné de lourds dommages aux avions et, dans certains cas, il y a eu de nombreuses pertes de vie. Malgré les efforts déployés par l'industrie depuis plus de 30 ans, il ne semble toujours pas exister de moyen de protection dans le poste de pilotage acceptable par l'industrie pour alerter l'équipage à temps que les performances de décollage sont insuffisantes pour un décollage en toute sécurité.

2.8 *Résumé*

Il est fort probable que la carte des paramètres de décollage a été remplie à partir des données de performance générées par le BLT. Les données FDR du décollage à l'aéroport international de Halifax sont presque identiques à celles du décollage à l'aéroport international Bradley, ce qui indique que la masse au décollage à l'aéroport international Bradley a servi à générer les données de performance pour l'aéroport international de Halifax. La masse à l'aéroport international Bradley figurant sur la page de masse et centrage a probablement été transposée inconsciemment dans la page pour le calcul des performances à cause d'une propriété de retour en arrière du logiciel. Par la suite, l'utilisateur a appuyé sur la touche de calcul, ce qui a généré des données de performance au décollage renfermant des vitesses V et un réglage de poussée incorrects pour l'aéroport international de Halifax. L'équipage de conduite s'est servi des vitesses V et du réglage de poussée incorrects lors de la tentative de décollage; toutefois, les réglages étaient trop faibles, notamment le réglage de poussée, pour que l'avion puisse décoller en toute sécurité.

Les facteurs qui ont probablement contribué à la production de paramètres de décollage incorrects et qui n'ont pas été décelés avant la tentative de décollage sont la fatigue de l'équipage de conduite, le non-respect des procédures, la formation insuffisante à l'utilisation du BLT et le stress individuel. Une fois le décollage entrepris, il est probable que l'équipage n'avait pas suffisamment conscience de la situation pour pouvoir se rendre compte de l'accélération insuffisante avant qu'il ne soit trop tard pour que l'avion puisse décoller en toute sécurité. La fatigue de l'équipage et le décollage dans la pénombre ont probablement contribué à cet état de chose.

3.0 *Conclusions*

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

1. Il est probable que la masse au décollage à l'aéroport international Bradley a été utilisée pour calculer les données de performance au décollage à l'aéroport international de Halifax, ce qui s'est traduit par la transcription de mauvaises vitesses V et d'un mauvais réglage de poussée sur la carte des paramètres de décollage.
2. Les vitesses V et le réglage de poussée incorrects étaient trop faibles pour que l'avion puisse décoller en toute sécurité, compte tenu de la masse réelle de l'avion.
3. Il est probable que le membre d'équipage de conduite qui s'est servi du logiciel pour ordinateur portable de Boeing (BLT) pour calculer les données de performance au décollage ne s'est pas rendu compte que la masse au décollage prévue à l'aéroport international de Halifax était incorrecte. Il est fort probable que l'équipage n'a pas respecté les procédures du transporteur prévoyant une vérification indépendante de la carte des paramètres de décollage.
4. Les pilotes du vol MKA1602 n'ont pas effectué la vérification des erreurs grossières prévue dans les procédures d'utilisation normalisées (SOP) de la compagnie, et les données de performance au décollage incorrectes n'ont pas été décelées.
5. La fatigue de l'équipage a probablement augmenté les risques d'erreur de calcul des données de performance au décollage, en plus de nuire aux capacités de l'équipage de conduite de déceler cette erreur.
6. La fatigue de l'équipage, combinée à un décollage dans la pénombre, a probablement contribué à la perte de conscience de la situation pendant la course au décollage. En conséquence, l'équipage ne s'est pas rendu compte des performances insuffisantes au décollage avant que l'avion ait dépassé le point où un décollage ou une interruption de décollage en toute sécurité aurait encore été possible.
7. La partie inférieure du fuselage arrière de l'avion a percuté un monticule où était fixée une antenne de radiophare d'alignement de piste; l'empennage s'est détaché de l'avion qui est alors devenu ingouvernable.
8. La compagnie n'avait aucun programme de formation et de tests en bonne et due forme pour le BLT, et il est probable que l'utilisateur du BLT dans le cas qui nous occupe ne connaissait pas très bien le fonctionnement de ce logiciel.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. L'information sur les marchandises dangereuses et le nombre de personnes à bord de l'avion n'a pas été facile à obtenir, ce qui aurait pu compromettre la sécurité des sauveteurs et des occupants de l'avion.
2. L'une des génératrices de secours de l'aéroport n'ayant pas fourni l'alimentation électrique prévue, certaines fonctions automatiques du poste d'incendie n'ont pas été activées après l'alarme accident, ce qui a augmenté les risques de délai avant l'intervention.
3. Les coordonnées de la carte quadrillée n'ont pas été utilisées pour diriger les unités d'intervention après l'accident, et certaines de ces unités ne possédaient pas d'exemplaires de cette carte. Le fait de ne pas utiliser ces coordonnées pendant une situation d'urgence pourrait causer de la confusion et augmenter le délai d'intervention.
4. Les problèmes de communication auxquels ont été confrontés les organismes d'intervention d'urgence ont gêné la coordination des opérations et auraient pu retarder une tentative de sauvetage ou l'évacuation d'un blessé.
5. À cause d'une défaillance d'un dispositif de chargement du fret, un rouleau d'acier n'a pu être positionné correctement, de sorte que les limites de masse des positions LR et MR ont été dépassées de 4678 kg (50 %).
6. La compagnie avait accru le temps de service maximal d'un équipage renforcé de 20 à 24 heures, ce qui augmentait les risques de fatigue.
7. La surveillance réglementaire exercée par la Ghana Civil Aviation Authority (GCAA) ne permettait pas de déceler les cas importants de non-respect des temps de vol et de service, ni les cas de non-respect permanent des instructions et des procédures de la compagnie MK Airlines Limited.
8. Le retard pris dans l'adoption de la nouvelle loi de 2004 sur l'aviation civile (*Civil Aviation Act, 2004*) a empêché la GCAA d'exercer une surveillance efficace de la compagnie MK Airlines Limited.
9. La planification par la compagnie de très longues périodes de service a augmenté de façon substantielle les risques de fatigue des équipages de conduite.
10. L'expansion de la compagnie, le taux de roulement des équipages et la politique de recrutement de MK Airlines Limited ont donné lieu à une pénurie d'équipages de conduite; en conséquence, il y avait moins d'équipages pour répondre aux besoins opérationnels, ce qui ajoutait au stress et au risque de fatigue.

11. Il n'y avait ni réglementation ni règle de la compagnie régissant le temps de service maximal des responsables du chargement et des techniciens au sol, d'où un risque accru d'erreurs induites par la fatigue.
12. Au moment de l'accident, le programme de qualité des opérations aériennes et de sécurité des vols de MK Airlines Limited en était à ses débuts, d'où son efficacité limitée.
13. Les monticules situés aux extrémités des pistes 06 et 24 n'avaient pas fait l'objet d'une évaluation pour déterminer s'ils présentaient un danger pour les avions dans l'aire de prolongement de piste aval et dans l'aire de dépassement de piste.
14. La masse opérationnelle à vide de l'avion ne comprenait pas la masse des membres d'équipage ni celle de l'équipement, lesquelles s'élevaient à 1120 kg; en conséquence, les masses maximales autorisées de l'avion risquaient d'être dépassées sans qu'on s'en aperçoive.
15. L'agent de manutention du fret à l'aéroport international de Halifax ne disposait pas des installations nécessaires pour peser les palettes complètes fournies par d'autres. Des masses inexactes du chargement pourraient causer une dégradation des performances de l'avion.
16. Certains membres d'équipage de conduite de MK Airlines Limited ne respectaient pas la totalité des SOP de la compagnie; ni les opérations de surveillance de la compagnie ni les opérations de surveillance réglementaire n'ont permis de corriger ce problème.

3.3 *Autres faits établis*

1. Le degré d'inclinaison publié pour la piste 24 était erroné, et cette erreur n'avait pas été décelée; cette erreur n'a toutefois pas eu de conséquence importante pour le vol MKA1602 à l'aéroport international de Halifax.
2. La masse et le centrage de l'avion étaient dans les limites permises au moment du décollage ayant mené à l'accident, même si les masses limites attribuées aux positions LR et MR avaient été dépassées.
3. Une simulation technique a permis d'établir que les performances de l'avion correspondaient aux performances prévues pour cette configuration de décollage, à la masse et dans les conditions qui prévalaient au moment du décollage à l'aéroport international de Halifax.

4. On compte plusieurs cas (accidents et incidents) dans le monde où le non-respect des procédures a conduit à une utilisation de mauvais paramètres de décollage et où les équipages de conduite n'ont pas réalisé l'insuffisance des performances au décollage.
5. L'enquête n'a révélé aucune anomalie technique de l'avion ou de ses moteurs qui aurait contribué à l'accident.

4.0 *Mesures de sécurité*

4.1 *Mesures prises*

4.1.1 *Avis de sécurité A040058-1*

Le 20 octobre 2004, le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a envoyé à Transports Canada l'avis de sécurité A040058-1 portant sur la vérification de la masse du fret. Cet avis indiquait que Transports Canada pourrait souhaiter vouloir examiner les procédures de manutention du fret au Canada et à l'étranger, et plus particulièrement les procédures de vérification de la masse du fret et la surveillance réglementaire entourant ces questions.

Le 9 décembre 2004, Transports Canada a répondu à l'avis de sécurité A040058-1. La lettre citait plusieurs règlements applicables aux opérations commerciales : les normes et pratiques recommandées (SARP) de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), les *Joint Aviation Requirements* (JAR) et les *Federal Aviation Regulations* (FAR). Transports Canada a indiqué que la réglementation vise à s'assurer que c'est bien la masse réelle du fret, ce qui comprend la masse du contenu, du matériau d'emballage, de l'emballage, de la palette ou de l'unité de chargement, des moyens de fixation ou d'emballage ainsi que de tout autre dispositif ou matériau transporté à bord de l'aéronef avec le fret, qui entre en ligne de compte dans le calcul de la masse totale du fret. Transports Canada a également ajouté que la réglementation indique clairement qu'il incombe à l'exploitant de veiller à ce que ses opérations reposent sur de bonnes procédures de pesée du fret.

Transports Canada estime que la réglementation et les normes actuelles traitent suffisamment bien des questions soulevées dans l'avis de sécurité. Toutefois, à la lumière du récent accident à l'aéroport international de Halifax (Nouvelle-Écosse), et dans le but de renforcer la nécessité de veiller au contrôle de l'exactitude de la masse du fret, Transports Canada a publié le 4 juin 2005 une Circulaire consultative de l'Aviation commerciale et d'affaires traitant de cette question.

4.1.2 *Avis de sécurité A040059-1*

Le 22 octobre 2004, le BST a envoyé à Transports Canada l'avis de sécurité A040059-1 concernant des erreurs dans les données de pente de piste figurant dans les publications. L'avis de sécurité s'interrogeait sur l'exactitude des données de pente de piste publiées. Les données sur la piste 24 de l'aéroport international de Halifax présentées dans des publications d'information aéronautique canadiennes indiquent à tort une pente descendante de 0,17 %, alors qu'il s'agit d'une pente ascendante de 0,17 %. L'avis de sécurité indiquait que Transports Canada pourrait souhaiter vouloir s'assurer que l'information sur les pentes de piste d'autres aérodromes ne présente pas d'erreurs similaires. Il était suggéré de procéder à un examen des mesures d'assurance de la qualité entourant la fourniture et la description de l'information sur les aérodromes figurant dans les publications d'information de vol canadiennes.

Le 9 décembre 2004, Transports Canada a répondu à l'avis de sécurité A040059-1 en indiquant qu'un examen préliminaire n'avait permis de découvrir aucune autre erreur dans les données de pente de piste publiées. L'erreur dans les données de l'aéroport international de Halifax est une erreur humaine de transposition. L'erreur dans l'information sur la pente de la piste 24 a été découverte dans le cadre de la présente enquête. L'erreur a été signalée à Transports Canada qui a publié un NOTAM (avis aux aviateurs) enjoignant les titulaires du *Canada Air Pilot* de supprimer l'information sur les pentes pour toutes les pistes de l'aéroport international de Halifax.

Par la suite, on a constaté que, conformément aux spécifications de la *Publication d'information aéronautique* (A.I.P. Canada) de NAV CANADA, seules les pentes de plus de 0,3 % sont publiées. Par conséquent, un second NOTAM a été publié pour enjoindre les titulaires des documents pertinents de réinsérer l'information sur la pente de la piste 33 et de supprimer celle sur la pente de la piste 24.

De plus, à la suite de cet avis de sécurité, un bulletin urgent de la Sécurité des aéroports a été envoyé aux bureaux régionaux de Transports Canada pour distribution à tous les aéroports et tous les aéroports enregistrés. Ce bulletin urgent rappelait à tous les exploitants d'aéroport et d'aérodrome qu'ils doivent vérifier l'exactitude de toutes les données publiées et qu'ils doivent signaler immédiatement, par NOTAM, les corrections à apporter aux publications d'information aéronautique. Les directives en matière de méthodologie pour le calcul des données de pente de piste sont en cours d'examen, en coordination avec NAV CANADA et les autres parties concernées.

Par la suite, NAV CANADA a fait savoir au BST que, entre le 1^{er} janvier 2004 et le 1^{er} octobre 2004, il n'avait reçu que deux demandes de modification de l'information sur les pentes de piste figurant dans ses publications aéronautiques. Entre la publication de l'avis de sécurité A040059-1 et le 1^{er} décembre 2005, NAV CANADA a reçu 73 demandes d'ajout ou de modification de l'information sur les pentes de piste.

4.1.3 Mesures prises par la Ghana Civil Aviation Authority

Dans une lettre datée du 1^{er} novembre 2004, la Ghana Civil Aviation Authority (GCAA) a ordonné à MK Airlines Limited de cesser d'utiliser l'outil logiciel pour ordinateur portable de Boeing (BLT) jusqu'à son approbation par la GCAA. La GCAA a également ordonné à MK Airlines Limited de respecter les exigences en matière de repos des équipages figurant au paragraphe 8.11 des *Ghana Civil Aviation Regulations* (GCAR) jusqu'à ce que la compagnie présente pour approbation un nouveau régime et d'appliquer respectivement les paragraphes 8.11.1.3(a)(4) et 9.4.1.16 des GCAR en ce qui concerne les périodes de repos des responsables du chargement et des techniciens au sol.

4.1.4 Mesures prises par MK Airlines Limited

4.1.4.1 Avis aux équipages de conduite

Le 20 octobre 2004, MK Airlines Limited a émis un avis aux équipages de conduite qui stipulait : [Traduction] « Les responsables du chargement et les agents d'escale sont tenus de vérifier le poids des palettes quand le poids mort d'au moins deux palettes sur la fiche de déclaration est le même ou presque. S'il y a lieu, une vérification du poids sur une balance convenable dûment étalonnée doit être effectuée avant le chargement. NE JAMAIS, en aucune circonstance, accepter du fret d'un agent ou d'une firme de manutention approuvés par la compagnie si ce fret n'a pas été pesé sur une balance dûment étalonnée pour les palettes d'avion. Tout événement de cette nature exige de remplir un compte rendu d'événement et de le soumettre à l'agent de la sécurité des vols ».

Le 20 octobre 2004, MK Airlines Limited a émis un avis aux équipages de conduite à ce sujet : [Traduction] « À compter de maintenant, et pour éviter toute confusion, le poids et l'indice correspondant au nombre total de personnes à bord (équipage de conduite et passagers) doivent être indiqués dans la case Correction des feuilles de chargement du B747 et du DC-8. La masse de base ne comprend pas l'équipage. »

Moins de deux semaines après l'accident, MK Airlines Limited a émis un avis aux équipages de conduite demandant de cesser immédiatement d'utiliser le BLT et d'avoir recours à d'autres procédures. Une demande officielle a été faite à la Civil Aviation Authority (CAA) du Royaume-Uni, conformément au guide temporaire intitulé *Guidance Leaflet No. 36: Approval of Electronic Flight Bags (EFBs)* qui est un guide sur l'approbation des organisateurs électroniques de poste de pilotage (OEPP).

Le 3 février 2005, MK Airlines Limited a émis un avis aux équipages de conduite à ce sujet demandant de cesser d'utiliser les OEPP (ordinateurs JeppView®) jusqu'à ce qu'ils soient approuvés officiellement conformément aux lignes directrices des JAR.

4.1.4.2 Opérations aériennes

Le 16 novembre 2004, à la demande de MK Airlines Limited, le gouvernement du Royaume-Uni, en collaboration avec la GCAA, a procédé à une vérification complète de la compagnie pour voir si elle se conformait aux dispositions de l'OACI. À la suite de cette vérification, MK Airlines Limited a décidé de se conformer aux JAR en accord avec les autorités du Royaume-Uni.

La publication de la CAA du Royaume-Uni intitulée *Avoidance of Fatigue in Air Crews (CAP 371)* énumère les dispositions réglementaires visant à éviter la fatigue des équipages de conduite. MK Airlines Limited a demandé à la GCAA l'autorisation d'utiliser ce régime de limites de temps de vol et a modifié son manuel d'exploitation en conséquence. Ce régime a été approuvé en mai 2005 et a été entièrement mis en application. Des inspecteurs de la CAA du

Royaume-Uni veillent à son respect. Un avis aux équipages a été émis à propos de l'inscription des temps de service sur les comptes rendus de mission, le but étant de mieux surveiller les périodes de repos obligatoires.

Le personnel de MK Airlines Limited chargé de l'établissement des horaires de travail des équipages a reçu des explications sur les limites imposées par la CAP 371 et, afin d'éviter tout dépassement, il surveillera les horaires des équipages avec un logiciel développé à l'interne. Les équipages ont reçu des explications concernant les nouvelles limites de temps de vol et leurs responsabilités en ce qui concerne le respect de ces limites. Les documents de vol sont soumis à une inspection minutieuse pour assurer que les comptes rendus discrétionnaires du commandant de bord sont remplis quand il le faut.

Un avis aux équipages a été émis comportant des conseils visant à réduire la fatigue et le stress liés au présent accident et à la situation politique et à la sécurité publique en Afrique australe. Un nouveau régime de salaire instauré en décembre 2004 a permis d'améliorer la sécurité financière des membres d'équipage et a reçu un accueil favorable.

Le programme de vérification des entrepreneurs de services au sol a été amélioré par la qualification des responsables du chargement de MK Airlines Limited en vertu de la norme de certification *Lead Assessor* (chef évaluateur) de la British Standards Institution. Des procédures de vérification plus détaillées ont été préparées sous la gouverne du nouveau directeur sécurité et qualité. Le nouveau service sécurité et qualité coordonnera les activités de vérification des services techniques, opérationnels, de sécurité et du mouvement des marchandises.

Un système de gestion de la sécurité a été instauré dans toute la compagnie, et une nouvelle politique de sécurité de la compagnie a été préparée en version provisoire. Un programme de surveillance des données de vol est en train d'être mis en place dans le cadre du système de qualité des opérations aériennes. Le tout fait partie du système de gestion de la sécurité qui comprend la gestion de la qualité et de la sécurité de la compagnie. Le personnel clé a suivi un cours d'assurance de la qualité des opérations aériennes qui a eu lieu du 4 au 7 avril 2005 à l'université de Cranfield au Royaume-Uni.

Un questionnaire sur la culture de la sécurité a été préparé et inséré dans le dernier bulletin de sécurité de la compagnie pour solliciter les commentaires des employés.

4.1.4.3 *Formation*

Grâce aux conseils de la CAA du Royaume-Uni, le manuel de formation a subi d'importantes révisions pour répondre aux exigences des JAR. Un adjoint au gestionnaire de la formation, possédant une vaste expérience de la gestion de la formation, a été nommé. La formation répond dorénavant aux exigences des JAR-FCL (*Joint Aviation Requirements-Flight Crew Licensing*) (exigences communes en matière d'aviation-délivrance des licences du personnel) et des JAR-OPS (*Joint Aviation Requirements-Operations*) (exigences communes en matière d'aviation-exploitation). Les équipages de conduite dont les licences ne répondent pas aux exigences des JAR ont commencé à suivre des cours pour obtenir des licences conformes aux exigences des JAR.

Des firmes et des consultants ont été engagés à contrat ou à titre permanent pour superviser les normes de formation :

- **Centre de formation CTC Crew Training Centre.** Situé à Bournemouth au Royaume-Uni, ce centre dispense de la formation d'instructeurs en qualification de type (TRI).
- **Centre de formation Global Air Training.** Situé à Cheshire au Royaume-Uni, ce centre dispense de la formation d'instructeur en gestion des ressources de l'équipage (CRMI), et de la formation d'instructeur de sécurité.
- **Consultant.** Ancien inspecteur de l'entraînement aux opérations aériennes de la CAA du Royaume-Uni, il est responsable du contrôle des normes de formation des instructeurs.
- **Consultant.** Ancien examinateur de qualification de type (TRE) sur B747 de British Airways, il donne des conseils en matière de normalisation et de formation des instructeurs sur B747.
- **Gestionnaire adjoint de la formation.** Ancien instructeur mécanicien navigant principal chez British Airways, il doit s'assurer personnellement que les documents et les politiques de formation en cours de préparation répondent aux normes voulues avant leur présentation aux autorités.

Le manuel d'exploitation de la compagnie (section 8 de la partie A - Ébauche devant être approuvée par la CAA du Royaume-Uni) a été mis à jour avec l'ajout de divers exposés de vol devant améliorer le niveau de conscience de la situation. Des procédures ont été élaborées afin de veiller à l'alignement constant des manuels de formation de la compagnie sur la réglementation nationale et internationale en vigueur et sur les bulletins de service des constructeurs. Le système des dossiers de formation de chaque flotte a été examiné et aligné sur les exigences du manuel de formation. Une base de données sur l'expiration de la formation a été élaborée et sera examinée afin de s'assurer du respect des exigences de la partie D des JAR-FCL. Les procédures liées aux consignes de navigabilité et aux bulletins de service se trouvent à la section 2.11 du Manuel de contrôle de la maintenance et sont en cours de réécriture dans la présentation de l'organisme de maintenance afin de se conformer à la JAR 145. Un service de gestion de l'information a été mis en place.

Un système a été développé dans le but d'améliorer le système de qualification des équipages pour les aérodromes des catégories B et C. Un programme de participation des équipages à la collecte et à la mise à jour de l'information sur les aérodromes a été mis en œuvre, ce qui comprend une évaluation des risques et une analyse des accidents CFIT (impact sans perte de contrôle). La partie C du manuel d'exploitation contient maintenant des fiches sur les routes et les aérodromes. En plus de sa demande de certificat d'exploitation aérienne, MK Airlines Limited va demander à être un organisme de formation en qualification de type (TRTO) répondant aux exigences des JAR. MK Airlines Limited est en train de publier pour approbation un manuel TRTO qui contiendra toutes les exigences relatives aux instructeurs, à la formation des instructeurs, aux normes et aux installations.

MK Airlines Limited a lancé un processus visant à assurer que tous les instructeurs et les examinateurs de la compagnie sont qualifiés en vertu de la sous-partie I des JAR-FCL. Par exemple :

- La version 4 de la JAR-FCL 680 a été distribuée aux instructeurs en qualification de type (TRI) et aux examinateurs de qualification de type (TRE) potentiels, à des fins de délivrance des licences. On cherchera à obtenir les autorisations et les accréditations pour les instructeurs en qualification de type (TRI) et les examinateurs de qualification de type (TRE) seulement après que les licences auront été délivrées et que toutes les exigences des JAR-FCL 1.365 et 1.405 et du document 24, version 4 des normes de la CAA, auront été respectées.
- Dans le cadre de ce qui précède, 14 instructeurs ont suivi le cours d'instructeur en qualification de type (TRI) répondant aux exigences des JAR au centre de formation CTC Crew Training Centre à Bournemouth. Cette formation porte sur la formation en simulateur et en ligne des instructeurs en gestion des ressources de l'équipage (CRMI). Trois membres du personnel de formation sur B747 ont suivi un cours d'instructeur en qualification de type (TRI) sur B747 et ont été agréés par la CAA du Royaume-Uni. Un cours de normalisation est prévu pour les instructeurs en qualification de type (TRI) dès qu'ils auront acquis l'expérience nécessaire pour être agréés en qualité d'examineur de qualification de type (TRE).
- Des personnes recommandées par la CAA du Royaume-Uni vont se charger des cours de normalisation, une fois que les instructeurs en qualification de type (TRI) auront été promus examinateurs de qualification de type (TRE).
- Quatre instructeurs (deux pilotes, un mécanicien navigant et un responsable du chargement) ont suivi une formation au sol d'instructeur en gestion des ressources de l'équipage (CRMI) répondant aux exigences des JAR, au centre de formation Global Air Training à Cheshire.

Le premier cours de formation sur Boeing 747 répondant aux nouvelles exigences des JAR a débuté en mai 2005. Les travaux de construction de la nouvelle aile du service de formation sont en cours au centre des opérations de la compagnie à Landhurst. La nouvelle aile abritera le simulateur de B747, les bureaux du personnel du service de formation ainsi que le service sécurité et qualité.

Les vols de contrôle de compétence pour tous les membres d'équipage de conduite ont été mis à jour afin de respecter les exigences des JAR-FCL 1.240, 1.295 et 4.240, appendice 2. MK Airlines Limited a lancé un programme biennal de formation technique au sol portant sur les systèmes des avions. Le contenu et la documentation de ce cours répondent à la sous-partie N des JAR-OPS. MK Airlines Limited a terminé la préparation d'un programme de formation initiale et périodique comprenant une formation en gestion des ressources de l'équipage (CRM) pour les responsables du chargement. Le chef des responsables du chargement a suivi un cours d'instructeur en gestion des ressources de l'équipage (CRMI) du 10 au 14 janvier 2005. Huit séances de formation de trois jours ont été organisées à l'intention des responsables du chargement entre le 16 janvier et le 12 février 2005.

Des systèmes d'avertissement de proximité du sol améliorés (EGPWS) seront utilisés pour la formation au sol et sur simulateur B747. Une séance d'information de deux heures sur l'EGPWS a été ajoutée à la formation périodique qui sera donnée de janvier à juin 2005. Un CD ROM interactif a été remis à chaque membre d'équipage pour qu'il s'en serve pendant ses travaux d'étude personnelle.

Une formation biennale obligatoire sur les performances et le dégivrage des avions a été ajoutée au programme de formation périodique au sol. Les durées d'efficacité des produits de dégivrage qui figuraient dans le manuel d'exploitation (en 8.2.4.8.3 de la partie A) ont été modifiées le 21 décembre 2004 pour cadrer avec les tableaux de l'Association of European Airlines (19^e édition, septembre 2004). Un avis aux équipages a été émis le 21 décembre 2004 pour assurer que les équipages sont bien au courant de la situation et les renseigner sur l'interprétation de l'information.

4.1.4.4 *Certification de l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne*

MK Airlines Limited a fait une demande de certificat d'exploitation aérienne du Royaume-Uni.

L'organisation de la compagnie a été revue de manière à respecter ou à surpasser les exigences des JAR, et ce, grâce à l'ajout de plusieurs nouveaux postes à temps complet occupés par du personnel hautement qualifié. Le plan du projet de certificat d'exploitation aérienne est géré par le directeur sécurité et qualité, et a été achevé à la fin de 2005.

Les activités ci-après ont été entreprises ou menées à bien dans le cadre de la demande de certificat d'exploitation aérienne :

- le manuel d'exploitation a été réécrit conformément aux JAR et soumis à la CAA du Royaume-Uni;
- d'importantes révisions ont été apportées au manuel de formation pour le rendre conforme aux JAR;
- une nouvelle structure organisationnelle conforme aux JAR a été développée :
 - le poste de directeur sécurité et qualité a été créé;
 - le nouveau directeur sécurité et qualité est titulaire de la licence de pilote de ligne et possède une vaste expérience des équipages de conduite, des systèmes de gestion de la sécurité et des règlements spécialisés;
 - l'agent de la sécurité des vols (conseiller en prévention des accidents) fait maintenant partie de l'équipe de coordination de la sécurité;
 - un agent de liaison des équipages de conduite a été nommé pour voir à l'interface avec l'assurance de la qualité des opérations aériennes, et ce, grâce à une fonction confidentielle de gestion de la sécurité;

- le poste de gestionnaire des opérations au sol a été créé et comblé;
- le poste de gestionnaire de la formation a été créé et comblé;
- le poste d'adjoint au gestionnaire de la formation a été créé et comblé;
- les paramètres de ces postes ont été modifiés dans le manuel d'exploitation de la compagnie pour approbation par la CAA du Royaume-Uni;
- la partie D - Formation du manuel d'exploitation a été réécrite afin de répondre aux exigences des JAR-FCL et a été soumise à l'approbation de la CAA du Royaume-Uni. Ce document a été approuvé récemment.

Une liste d'équipement minimal (MEL) révisée pour le B747 conforme aux JAR et basée sur la liste principale d'équipement minimal de la CAA du Royaume-Uni a été soumise pour approbation. Des modifications ont été demandées, et la version révisée a été soumise une nouvelle fois avec la demande de certificat d'exploitation aérienne.

Le gestionnaire des opérations au sol récemment nommé a instauré une surveillance resserrée des entreprises contractuelles chargées de la manutention au sol.

4.1.4.5 *Navigabilité aérienne*

L'équipement des avions a fait l'objet d'une vérification complète par la CAA du Royaume-Uni, ce qui a permis de confirmer que tous les avions respectaient pleinement les dispositions de l'OACI. Les procédures d'avitaillement en carburant et de chargement ont été examinées pour assurer la normalisation entre les flottes de B747 et de DC-8.

En février 2005, la compagnie s'est lancée dans le processus de demande d'approbation de la partie M (gestion de la maintenance) et de la partie 145 de l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AESA). En mars 2005, MK Airlines Limited a commencé à recruter du personnel ayant des licences conformes à la partie 66 de l'AESA et a entrepris la formation du personnel déjà en place afin de lui permettre de convertir ses licences. Dans les six premiers mois de 2005, la compagnie a entrepris ou mené à bien plusieurs activités dans le domaine de la navigabilité aérienne :

- les mesures consécutives à la vérification faite par la CAA du Royaume-Uni en novembre 2004 ont été mises en œuvre;
- la CAA du Royaume-Uni a confirmé que MK Airlines Limited respectait les normes et pratiques recommandées (SARP) de l'OACI;
- un nouveau gestionnaire technique (possédant 37 années d'expérience) a été recruté;
- un examen des procédures techniques et une restructuration des manuels techniques visant à garantir le respect des exigences de l'AESA ont été effectués;

- un examen des procédures du service de la qualité technique et le recrutement d'employés supplémentaires ont été entrepris;
- une vérification interne de tous les services techniques et de toutes les bases de maintenance a été entreprise en fonction des exigences de l'AESA;
- des demandes d'immatriculation au Royaume-Uni et de certificats de navigabilité de l'AESA ont été faites pour la flotte de B747;
- la formation du personnel en matière de facteurs humains et d'exigences réglementaires de l'AESA a été menée à bien.

4.1.5 *Mesures prises par Boeing*

Le 11 novembre 2004, Boeing a publié un message s'adressant à tous les utilisateurs de son logiciel pour ordinateur portable (BLT). Ce message passait en revue la caractéristique propre à ce logiciel qui remplace automatiquement toute inscription faite dans le champ de la masse prévue figurant sur l'écran principal lorsque l'utilisateur consulte la page sommaire de masse et centrage et que les données de performance sont calculées à partir de la masse figurant dans ce champ. Le message demande aux exploitants de s'assurer que cette caractéristique a été correctement expliquée aux équipages pendant leur formation.

4.1.6 *Mesures prises par la Halifax International Airport Authority*

La Halifax International Airport Authority (HIAA) a indiqué avoir apporté la modification suivante aux installations des services de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs (SLIA) :

- Trois dispositifs d'éclairage supplémentaires autonomes à batterie ont été installés dans le poste d'incendie pour assurer un meilleur éclairage de secours en cas de panne de courant.

La HIAA a indiqué prévoir les modifications suivantes aux installations des SLIA :

- Le circuit d'éclairage du garage du poste d'incendie sera modifié. Les lampes à vapeur de sodium haute pression vont être remplacées par des tubes fluorescents de huit pieds capables de s'allumer immédiatement dès que l'alimentation électrique de secours est disponible.
- Une alimentation électrique sans interruption va être installée dans la pièce des alarmes pour assurer la présence d'une source d'alimentation électrique du relais activant les fonctions automatiques déclenchées par l'alarme accident.

4.1.7 *Mesures prises par la Civil Aviation Authority (CAA) du Royaume-Uni*

Depuis l'accident du vol MKA1602, la CAA du Royaume-Uni a poursuivi ses inspections au sol et en vol de MK Airlines Limited. La CAA du Royaume-Uni a tenu des discussions avec la direction du personnel de MK Airlines Limited au sujet de la définition de l'OACI de l'expression « siège principal de l'entreprise » et quant à savoir s'il était toujours pertinent que MK Airlines Limited détienne un certificat d'exploitation aérienne délivré par le Ghana. Fin novembre 2005, d'un commun accord entre la direction de MK Airlines Limited, la GCAA et la CAA du Royaume-Uni, cette dernière a procédé à une vérification complète de MK Airlines Limited. Cette vérification a été effectuée par quelque cinq inspecteurs et a duré cinq jours. La vérification n'a révélé aucune menace immédiate à la sécurité, et MK Airlines Limited a été autorisé à poursuivre ses activités à partir du Royaume-Uni.

4.1.8 *Mesures prises par la Federal Aviation Administration des États-Unis*

Le 30 avril 2005, la Federal Aviation Administration (FAA) a annoncé publiquement que le Ghana ne respectait pas les normes internationales de sécurité de l'OACI. À la suite de cette annonce, le Ghana a été rétrogradé en catégorie 2 par la FAA. La FAA a indiqué qu'elle allait rester en liaison avec la GCAA et qu'elle examinerait périodiquement la situation dans le but de favoriser des améliorations permettant au Ghana de revenir en catégorie 1.

4.2 *Mesures à prendre*

4.2.1 *Système de surveillance des performances de décollage*

Le décollage ayant mené à l'accident a été entrepris alors que le réglage de poussée et les vitesses de décollage étaient nettement inférieurs à ce qu'ils auraient dû être pour un décollage en toute sécurité. L'annonce normalisée de la compagnie demandant d'afficher la puissance maximale à chaque décollage (Set MAX POWER) n'aurait pas donné à l'équipage une autre occasion d'établir s'il s'agissait de la puissance maximale ou de la puissance réduite. Une fois le décollage entrepris, l'équipage de conduite ne s'est pas rendu compte que les performances de l'avion étaient nettement inférieures à celles prévues jusqu'à ce que l'avion ait dépassé le point où un décollage ou une interruption de décollage en toute sécurité aurait encore été possible.

Plusieurs accidents et incidents aériens similaires ont montré que, dans l'industrie de l'aviation, il était déjà arrivé que d'autres équipages ne se rendent pas compte des mauvaises performances de décollage de leur avion. Certains de ces accidents ont occasionné de lourds dommages aux avions et, dans plusieurs cas, il y a eu de nombreuses pertes de vie. Malgré les efforts déployés pour trouver des solutions procédurales ou techniques permettant d'alerter les équipages des accélérations insuffisantes des avions au décollage, ces efforts ne se sont toujours pas traduits par l'introduction ou l'installation d'une méthodologie ou d'un système à l'intérieur des avions de la catégorie transport. En l'absence d'un tel système, les équipages et le public voyageur continuent d'être exposés à des risques indus.

En conséquence, le Bureau recommande que :

le ministère des Transports du Canada, en liaison avec l'Organisation de l'aviation civile internationale, la Federal Aviation Administration des États-Unis, l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne et d'autres instances de réglementation, instaure une exigence pour que les avions de la catégorie transport soient tenus d'être équipés d'un système de surveillance des performances de décollage permettant d'alerter rapidement et avec précision les équipages de conduite en cas de performances de décollage insuffisantes.

A06-07

4.3 *Préoccupations liées à la sécurité*

4.3.1 *Objets artificiels se trouvant dans les prolongements de piste amont et aval*

Les monticules érigés à Halifax respectaient les normes de l'OACI et de Transports Canada en matière de franchissement des obstacles, mais la partie inférieure du fuselage arrière de l'avion a percuté le monticule situé au bout de la piste 24. L'avion a perdu son empennage et est devenu ingouvernable. Par ailleurs, il n'existe ni norme ni pratique recommandée particulière concernant la construction et l'évaluation des risques liés aux monticules ou à d'autres objets fixes situés dans les prolongements amont et aval des pistes au-delà des aires de sécurité de piste.

Du fait que des objets comme les monticules présents au-delà des deux extrémités des pistes 06 et 24 à l'aéroport international de Halifax ne sont assujettis à aucune évaluation quant aux risques potentiels qu'ils représentent au moment du décollage ou de l'atterrissage des avions, le Bureau s'inquiète des risques potentiels indus qui sont tolérés alors qu'il serait relativement facile de prendre des moyens pour atténuer ces risques.

4.3.2 *Occupants de l'avion et marchandises dangereuses à bord*

Les contrôleurs de la circulation aérienne n'ont pas été capables d'obtenir rapidement l'information nécessaire sur le nombre de personnes à bord de l'avion et sur les marchandises dangereuses à bord. MK Airlines Limited a indiqué le nombre de personnes à bord de l'avion environ une heure après l'accident, mais la liste des marchandises dangereuses chargées à l'escale précédente n'a été donnée au personnel de secours que 10 heures après l'accident. Les exploitants aériens sont tenus de consigner les marchandises dangereuses ainsi que le nombre de personnes à bord, mais cette information est souvent difficile à obtenir rapidement.

Pour régler ce problème, le National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis a recommandé ce qui suit aux instances de réglementation et aux exploitants :

1. Recommandation A-90-105 émise le 3 septembre 1990

[Traduction]

Le NTSB recommande à la Federal Aviation Administration d'exiger que les compagnies aériennes fournissent rapidement au personnel de secours de l'aéroport le nombre exact de personnes à bord d'un aéronef impliqué dans un accident ou un incident, et que les compagnies aériennes aident à établir les mesures à prendre au sujet des personnes récupérées sur les lieux d'un accident.

2. Recommandation A-98-080 émise le 12 août 1998

[Traduction]

Le NTSB recommande à la Federal Aviation Administration d'exiger que, d'ici deux ans, les transporteurs aériens engagés dans le transport de marchandises dangereuses aient les moyens, 24 heures sur 24, de retrouver et de fournir rapidement au personnel de secours l'information nécessaire, complète et précise, sur toutes les marchandises dangereuse à bord de l'avion, y compris la bonne appellation réglementaire, la classe de danger, la quantité, le nombre de colis et l'emplacement des marchandises.

3. Recommandation A-05-017 émise le 31 mai 2005

[Traduction]

Le NTSB recommande à la Federal Aviation Administration d'informer tous les contrôleurs de la circulation aérienne des circonstances entourant le présent accident, notamment de l'obligation d'assurer que les véhicules de secours ne sont pas retardés indûment quand ils répondent à une urgence ainsi que de la nécessité de transmettre au personnel de secours le nombre de personnes à bord des avions.

Le 13 janvier 1999, un Douglas DC-3C s'est écrasé à Mayne Island (Colombie-Britannique). L'avion transportait une petite quantité de marchandises dangereuses. Le personnel lié au transport des marchandises savait quel type de marchandises l'avion transportait, mais les premières personnes qui sont arrivées sur les lieux de l'accident ne savaient pas qu'il y avait des marchandises dangereuses à bord de l'avion. Le BST a formulé la conclusion suivante : « Les premiers intervenants sur les lieux de l'accident ne savaient pas que l'avion transportait des marchandises dangereuses; ils ont donc été exposés à de plus grands risques pendant leur travail sur les lieux de l'accident. » (Rapport d'enquête A99P0006 du BST, Faits établis quant aux risques.)

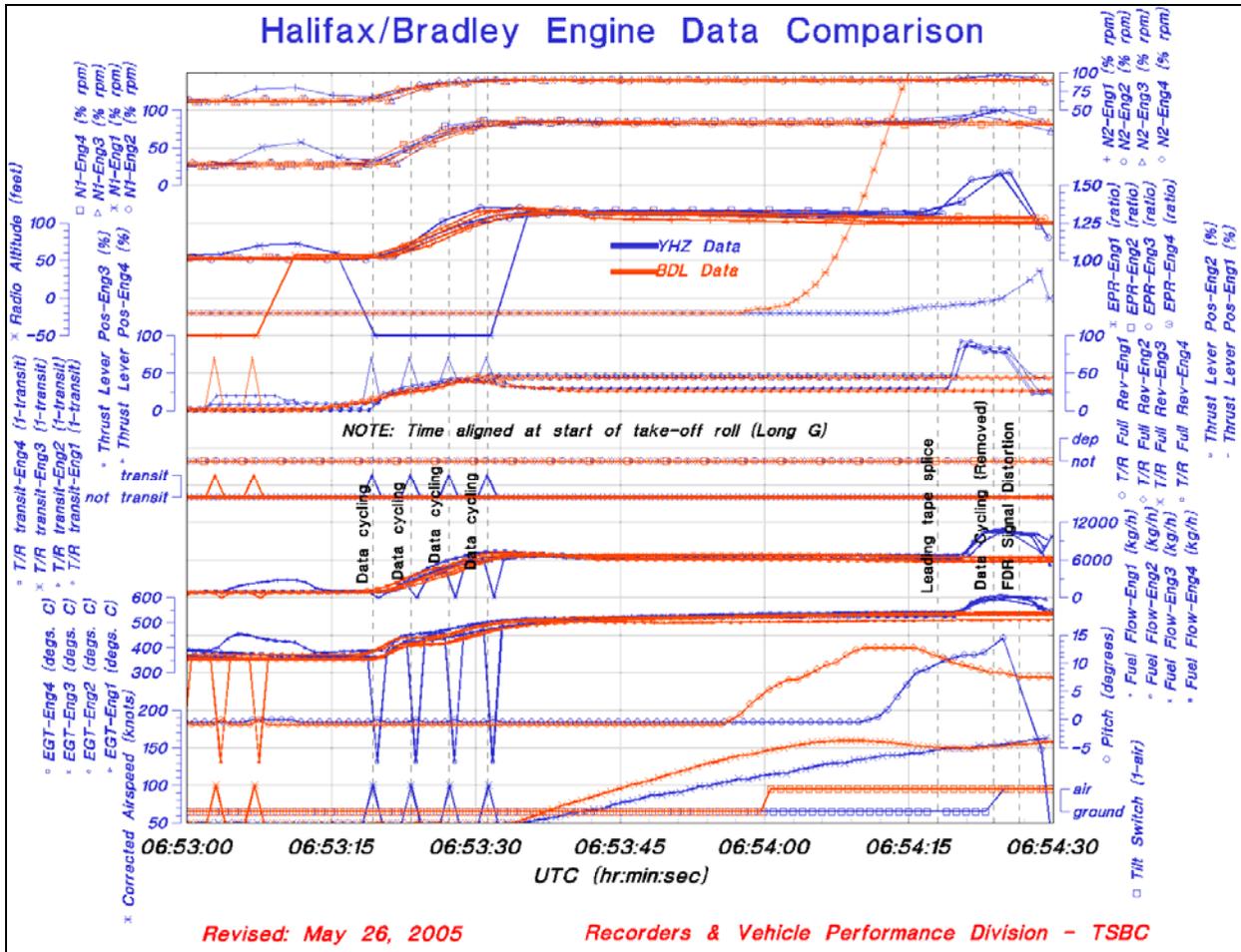
Le 15 septembre 2000, un Boeing 727 est sorti en bout de piste à l'aéroport international d'Ottawa (Ontario). L'avion n'a pas été endommagé, et aucun des neuf membres d'équipage n'a été blessé. Il n'y avait aucun passager à bord. Le BST a formulé la conclusion suivante : « Les véhicules de secours se sont approchés de l'avion sans que le personnel des Services d'intervention d'urgence (SIU) sache combien il y avait de personnes à bord, combien de carburant il restait et s'il y avait des marchandises dangereuses à bord. Le contrôleur d'aéroport n'avait pas ces renseignements pour les transmettre aux SIU, ce qui peut avoir retardé ou gêné l'intervention des SIU, et par le fait même compromis la sécurité du personnel des SIU et des occupants de l'avion. » (Rapport d'enquête A00H0004 du BST, Faits établis quant aux risques.)

Malgré les mesures prises par le NTSB et le BST pour inciter les instances de réglementation à régler ce problème de sécurité, cette condition dangereuse subsiste. Le Bureau constate avec inquiétude que tous les transporteurs aériens ne disposent pas d'un système fiable leur permettant de fournir rapidement l'information nécessaire sur le nombre de personnes à bord, la nature, la quantité et l'emplacement de toutes les marchandises dangereuses à bord de leurs appareils. Ce manque d'information pourrait compromettre l'efficacité de l'intervention et exposer le personnel de secours et les occupants des aéronefs à des risques plus grands.

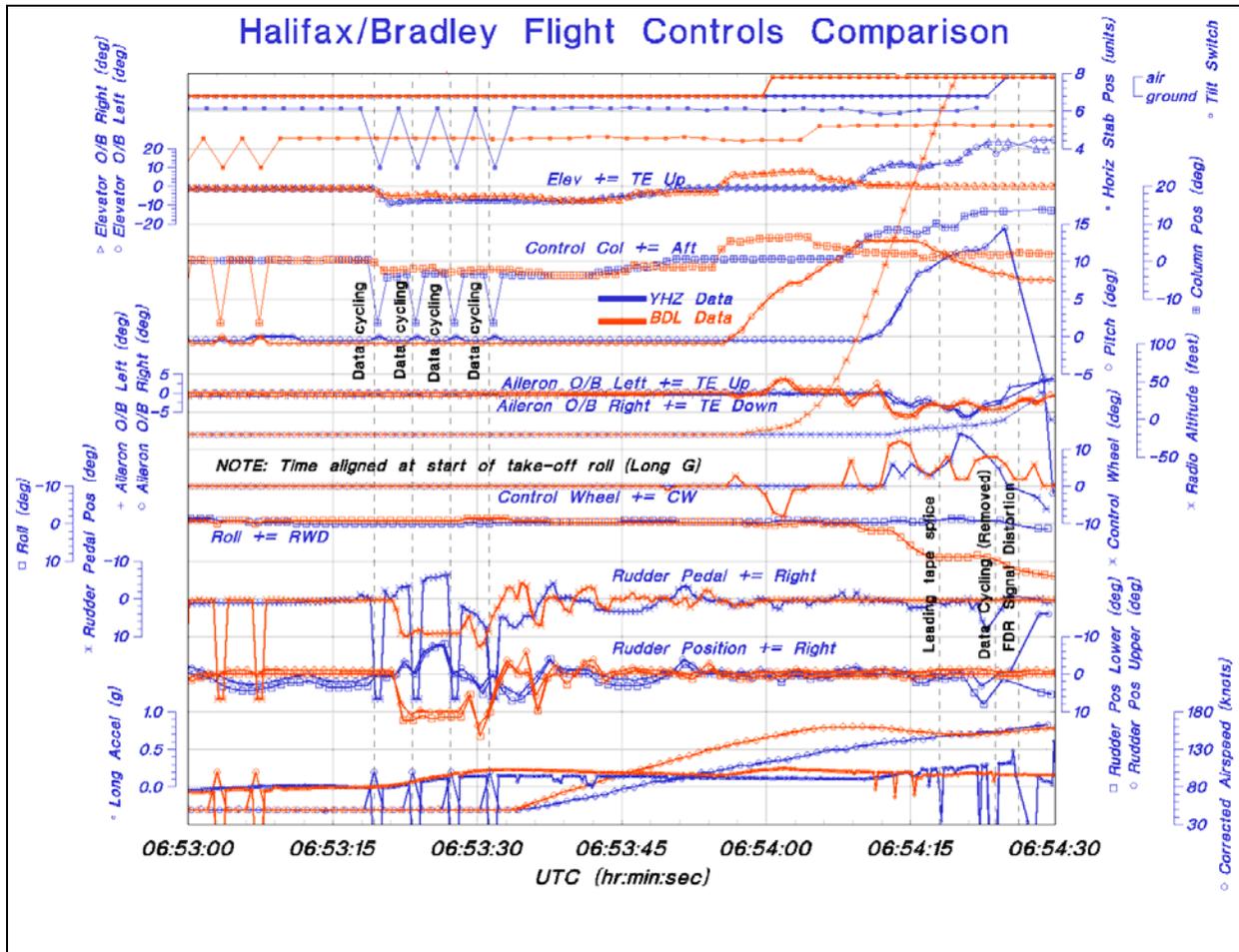
Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 6 avril 2006.

Visitez le site Web du BST (www.bst.gc.ca) pour plus d'information sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.

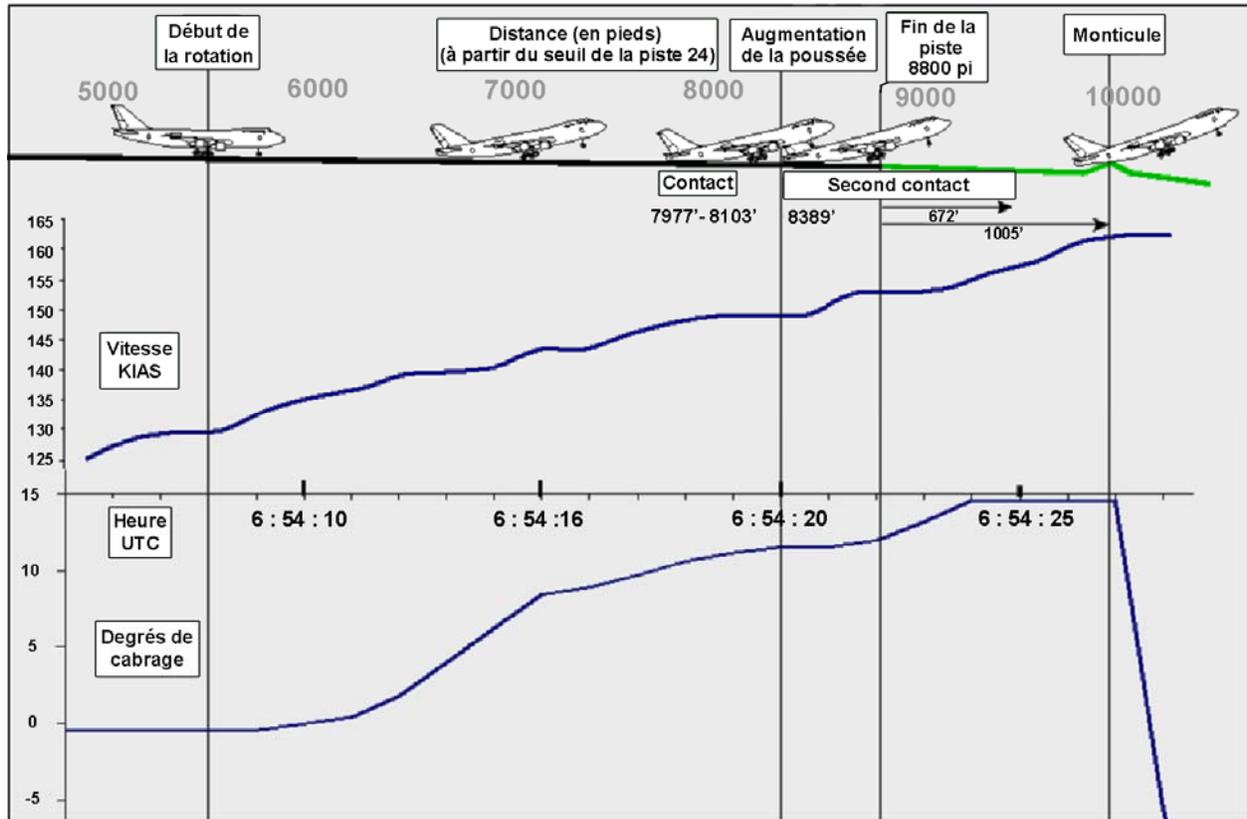
Annexe A – Comparaison des paramètres moteur enregistrés par le FDR à Bradley et à Halifax



Annexe B – Comparaison des positions des gouvernes et des commandes de vol enregistrées par le FDR à Bradley et à Halifax



Annexe C – Séquence de décollage



Annexe D – Chronologie des événements

Heure (UTC)	Chronologie sommaire des événements	Vitesse indiquée en nœuds (KIAS)	Angle de tangage (degrés)	Distance du seuil de la piste 24 (pieds)
6 h 47 min 6 s	Mise sous tension de l'enregistreur de données de vol (FDR). Tous les moteurs sont en marche, le frein de parc est serré, les volets sont rentrés, le compensateur des stabilisateurs est réglé à 3,3 unités, le cap est de 337 °M, la température de l'air statique est de 7,7 °C.	50	-0,9	
6 h 48 min 36 s	Les manettes de gaz sont poussées.	50	-0,9	
6 h 48 min 40 s	L'avion commence à circuler au sol.	50	-0,9	
6 h 48 min 58 s	Le levier des volets est mis à 20°. Le compensateur des stabilisateurs passe brièvement de 3,28 à 4,9 unités, puis descend brièvement à 4,6 unités avant d'augmenter de nouveau à 6,1 unités (il y restera jusqu'à la fin du vol).	50	-0,4	
6 h 49 min 5 s	Sortie des becs de bord d'attaque.	50	-0,4	
6 h 49 min 48 s	Vérification des ailerons.	50	-0,4	
6 h 50 min 3 s	Vérification des gouvernes de profondeur.	50	-0,4	
6 h 50 min 14 s	Vérification de la direction.	50	-0,4	
6 h 51 min 13 s	Entrée sur la piste.	50	0	
6 h 51 min 51 s	Remontée de la piste 24.	50	-0,9	
6 h 52 min 49 s	Début du virage à droite au seuil pour aligner l'avion sur la piste 24 pour le décollage.	50	-0,9	
6 h 53 min 18 s	Arrêt du virage à droite au cap de 240°, l'avion aligné dans l'axe de piste.	50	-0,4	194
6 h 53 min 19 s	Les manettes de gaz sont poussées pour un décollage sur la lancée.	?	-0,4	205
6 h 53 min 31 s	Des écarts se produisent dans les angles des manettes des gaz.	?	-0,4	474
6 h 53 min 35 s	L'enregistrement des données de vitesse commence à signaler les vitesses au-dessus de 50 KIAS.	51	-0,5	725
6 h 53 min 36 s	Les moteurs sont stabilisés à la puissance de décollage. Rapport de pression moteur (EPR) entre 1,32 et 1,34. L'angle de manette des gaz des moteurs 2 et 3 est de 47 % et 43 %; celui des moteurs 1 et 4 est de 30 %).	53	-0,5	801

Heure (UTC)	Chronologie sommaire des événements	Vitesse indiquée en nœuds (KIAS)	Angle de tangage (degrés)	Distance du seuil de la piste 24 (pieds)
6 h 54 min 8 s	Le manche est tiré pour entreprendre la rotation.	130	-0,5	5483
6 h 54 min 10 s	Début du cabré à la rotation. Les données des gouvernes de profondeur coïncident avec les déplacements du manche.	135	-0,4	5907
6 h 54 min 13 s	Le volant se déplace dans le sens horaire à 6,1° (action de 6° à 7° dans le sens horaire au cours des 6 secondes suivantes). Le manche est tiré à 8,4°.	140	2,3	6571
6 h 54 min 15 s	La commande de direction (inférieure) se déplace de 2,5° à droite.	143	6,7	7026
6 h 54 min 16 s	Le manche est tiré à 8,3°. Le tangage se stabilise brièvement à 9°. Le taux de tangage est d'environ 2,2 degrés par seconde.	143	8,5	7257
6 h 54 min 17 s	Le manche est tiré davantage pour atteindre 10°. (Perte de données à cause de l'épissure de la bande.)	145	?	7490
6 h 54 min 18 s	Le manche est tiré à 9,1°. Le tangage atteint 10,6° (les 4 échantillons suivants indiquent un tangage stabilisé dans la plage des 11°, ce qui est cohérent avec le contact de la partie inférieure du fuselage arrière avec le sol).	?	?	7726
6 h 54 min 19 s	Le manche est tiré à 9,0°. Le tangage atteint 11,1°.	?	10,7	7965
	Début du premier contact avec la piste.			7977
	Fin du premier contact avec la piste.			8103
6 h 54 min 20 s	Le volant se déplace dans le sens horaire à 14,2°. Le manche est tiré à 12,0°. Le tangage atteint 11,5°. Le manettes des gaz sont poussées.	149	11,2	8207
	Début du second contact avec la piste.			8389
6 h 54 min 21 s	Le manche est tiré à 12,6°, le tangage est de 11,5°. L'EPR des moteurs 2 et 3 atteint 1,6 (poussée maximale commandée), les EPR des moteurs 1 et 4 ne sont plus enregistrés.	149	11,5	8449
6 h 54 min 22 s	Le manche est tiré davantage à 13,5°, la commande de direction (inférieure) se déplace à droite pour faire une pointe à 8°, le tangage atteint 11,9°. Perte de données, probablement à cause du contact de la partie inférieure du fuselage arrière avec la piste.	152	11,6	8692

Heure (UTC)	Chronologie sommaire des événements	Vitesse indiquée en nœuds (KIAS)	Angle de tangage (degrés)	Distance du seuil de la piste 24 (pieds)
	Fin de la longueur de piste utilisable.			8800
6 h 54 min 23 s	Perte de données FDR.	?	?	8939
6 h 54 min 24 s	Le manche est tiré à 13,4°. Le tangage atteint 14,5°. Premier échantillon du contacteur d'inclinaison indiquant « Air ».	?	14,5	9188
6 h 54 min 25 s	Perte de données, probablement à cause du contact de la partie inférieure du fuselage arrière avec le monticule du radiophare d'alignement de piste. Le monticule sur lequel se trouve le radiophare se trouve à 9955 pieds, ce qui veut dire que l'erreur de position est de l'ordre de 5 %.	155	?	9438
	Fin du second contact avec le sol dans l'herbe.			9622
6 h 54 min 26 s	La perte des données à la suite du contact avec le monticule du radiophare d'alignement de piste se poursuit encore pendant une seconde.	?	?	9691
6 h 54 min 27 s	Perte de données.	?	?	9947
	Emplacement du monticule du radiophare d'alignement de piste.			9955
6 h 54 min 28 s	L'altitude maximale enregistrée au radioaltimètre est de 36 pieds, le tangage décroît à -5,4°	?	?	10 206
6 h 54 min 29 s	Dernier échantillon enregistré au radioaltimètre à 0 pied, le tangage décroît encore plus pour atteindre -20,9°, l'enregistrement donne une fausse indication du compensateur des stabilisateurs à -72,8 unités après le contact avec le monticule du radiophare d'alignement de piste. Fin de l'enregistrement FDR.	R	-8,8	10 468

Annexe E – Sigles et abréviations

AC	circulaire consultative
AESA	Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
agl	au-dessus du sol
APM	avis de proposition de modification
asl	au-dessus du niveau de la mer
ATC	contrôle de la circulation aérienne
ATIS	service automatique d'information de région terminale
BLT	logiciel pour ordinateur portable de Boeing
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CAA	Civil Aviation Authority (autorité de l'aviation civile du Royaume-Uni)
CAP	publication de la CAA du Royaume-uni (<i>civil air publication</i>)
CAP 371	publication intitulée <i>Avoidance of Fatigue in Air Crews</i>
CFIT	impact sans perte de contrôle (<i>Controlled Flight Into Terrain</i>)
CFSS	<i>Canadian Forces Flight Supplement</i>
CRM	gestion des ressources de l'équipage
CVR	enregistreur de la parole dans le poste de pilotage
EGPWS	système amélioré d'alerte et de proximité sol
EPR	rapport de pression moteur
FAA	Federal Aviation Administration (États-Unis)
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i> (États-Unis)
FDR	enregistreur de données de vol
GCAA	Ghana Civil Aviation Authority (autorité de l'aviation civile du Ghana)
GCAR	<i>Ghana Civil Aviation Regulations</i> (règlement de l'aviation civile du Ghana)
GMF AeroAsia	Garuda Maintenance Facilities (installation de maintenance de Garuda)
GRC	Gendarmerie royale du Canada
HIAA	Halifax International Airport Authority (administration de l'aéroport international de Halifax)
h	heure
ILS	système d'atterrissage aux instruments
JAA	Joint Aviation Authority (autorités européennes de régulation de l'aviation civile)
JAR	<i>Joint Aviation Requirements</i> (les JAR de la JAA de l'Europe)
JAR/FCL	<i>Joint Aviation Requirements – Flight Crew Licensing</i> (délivrance des licences)
JAR/OPS	<i>Joint Aviation Requirements – Operations</i> (exploitation)
kg	kilogramme
KCAS	vitesse corrigée en nœuds
KIAS	vitesse indiquée en nœuds
LUX	aéroport de Luxembourg-Findel
m	mètre
MAC	corde aérodynamique moyenne
MCM	manuel de contrôle de la maintenance
MEL	liste d'équipement minimal
min	minute
MKA1601	vol 1601 de MK Airlines Limited

MKA1602	vol 1602 de MK Airlines Limited
nm	mille marin
NOTAM	avis aux aviateurs
NTSB	National Transportation Safety Board (États-Unis)
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OEPP	organisateur électronique de poste de pilotage
po Hg	pouce de mercure
PF	pilote aux commandes
QRH	index des procédures
RAC	<i>Règlement de l'aviation canadien</i>
RESA	aire de sécurité d'extrémité de piste
RTG II	régime II
s	seconde
SARP	normes et pratiques recommandées (<i>Standard and Recommended Practices</i>)
SITA	Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques
SLIA	sauvetage et lutte contre les incendies d'aéronefs
sm	mille terrestre
S/O	sans objet
SOP	procédures d'utilisation normalisées
STAS	<i>Standard Take-off Analysis Software</i>
TAT/EPRL	température vraie de l'air/limite de rapport de pression moteur
TODA	distance de décollage utilisable
TORA	distance de roulement utilisable au décollage
TP	publication de Transports Canada
TRE	examineur de qualification de type
TRI	instructeur en qualification de type
TRTO	formation en qualification de type
UHF	ultra-haute fréquence
UTC	temps universel coordonné
VHF	très haute fréquence
V1	vitesse de décision au décollage
V2	vitesse de sécurité au décollage
V _{mcg}	vitesse minimale de contrôle au sol
V _{mu}	vitesse minimale de décollage
V _r	vitesse de rotation
V _{ref}	vitesse de référence à l'atterrissage
Z	heure Zulu (équivalent à l'UTC)
'	minute
"	seconde
°	degré
°C	degré Celsius
°M	degré magnétique
°V	degré vrai
%	pour cent