



## RAPPORT D'ENQUÊTE SUR ACCIDENT AÉRONAUTIQUE

### COLLISION EN VOL

ENTRE  
LE FAIRCHILD METRO 23 C-GYYB  
DE BEARSKIN AIRLINES  
ET  
LE PA-31 NAVAJO C-GYPZ  
D'AIR SANDY INC.  
12 nm au nord-ouest de  
SIOUX LOOKOUT (ONTARIO)  
1er MAI 1995

RAPPORT NUMÉRO A95H0008

---

Canada

---

## **MISSION DU BST**

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

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

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

## **INDÉPENDANCE**

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



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

## Rapport d'enquête sur accident aéronautique

### Collision en vol

entre  
le Fairchild Metro 23 C-GYYB  
de Bearskin Airlines  
et  
le PA-31 Navajo C-GYPZ  
d'Air Sandy Inc.  
12 nm au nord-ouest de  
SIOUX LOOKOUT (ONTARIO)  
1er mai 1995

Rapport numéro A95H0008

### *Résumé*

Le Piper PA-31 Navajo du vol 3101 d'Air Sandy transportait un pilote et quatre passagers; il avait décollé de Sioux Lookout à destination de Red Lake (Ontario). Le Fairchild Swearingen Metro 23 du vol 362 de Bearskin Airlines en provenance de Red Lake, qui transportait deux membres d'équipage et un passager, se rapprochait de Sioux Lookout. Les deux avions sont entrés en collision à 4 500 pieds-mer, à 12 milles marins (nm) environ au nord-ouest de Sioux Lookout. Les huit occupants ont subi des blessures mortelles.

Le Bureau a déterminé qu'aucun des pilotes n'a vu l'autre avion à temps pour éviter la collision. Les facteurs suivants ont contribué à l'accident : les limites du principe «voir pour éviter» qui ne permettent pas d'espacement efficace entre des avions qui ont des vitesses de rapprochement élevées, le fait qu'aucun des pilotes n'a été prévenu directement de la présence de l'autre avion par le spécialiste de l'information de vol ou par de l'équipement électronique de bord, et le manque apparent de compréhension de la part des pilotes des meilleures manoeuvres d'évitement possible.

This report is also available in English.

*Table des matières*

	Page
1.0 Renseignements de base .....	1
1.1 Déroulement du vol .....	1
1.2 Victimes .....	2
1.2.1 Swearingen Metro 23 de Bearskin immatriculé C-GYYB .....	2
1.2.2 Piper Navajo PA-31 d'Air Sandy immatriculé C-GYPZ .....	2
1.3 Dommages aux aéronefs .....	2
1.4 Autres dommages .....	3
1.5 Renseignements sur le personnel .....	3
1.5.1 Swearingen Metro 23 de Bearskin immatriculé C-GYYB .....	3
1.5.2 Piper Navajo PA-31 d'Air Sandy immatriculé C-GYPZ .....	4
1.5.3 Spécialiste de l'information de vol .....	5
1.6 Renseignements sur l'aéronef .....	6
1.6.1 Metro 23 de Bearskin immatriculé C-GYYB .....	6
1.6.2 Piper Navajo PA-31 d'Air Sandy immatriculé C-GYPZ .....	7
1.7 Renseignements météorologiques .....	8
1.8 Aides à la navigation .....	8
1.9 Caractéristiques du principe «voir pour éviter» .....	9
1.9.1 Généralités .....	9
1.9.2 Facteurs physiologiques .....	10
1.9.3 Avis de circulation .....	10
1.9.4 Visibilité à partir du poste de pilotage .....	11
1.9.5 Visibilité des aéronefs sur une trajectoire de collision .....	11
1.9.6 Technique de balayage visuel des pilotes .....	11
1.9.7 Facteurs influant sur la détection visuelle .....	12
1.9.8 Limites des réactions humaines .....	12
1.9.9 Techniques d'évitement des pilotes .....	13
1.10 Renseignements sur l'aérodrome .....	14
1.10.1 Généralités .....	14
1.10.2 Installations et exploitation de la FSS .....	14
1.10.3 Équipement du spécialiste FSS .....	15
1.10.4 Procédures des transporteurs aériens relativement aux radiofréquences .....	15
1.11 Enregistreurs de bord .....	16
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact .....	16
1.12.1 Site n° 1 - Renseignements sur l'épave du Metro et sur l'impact .....	17
1.12.2 Site n° 2 - Renseignements sur l'épave du Navajo et sur l'impact .....	18
1.12.3 Examen des systèmes .....	18

1.12.4	Reconstruction des épaves .....	18
1.13	Incendie .....	18
1.14	Questions relatives à la survie des occupants .....	19
1.15	Télécommunications .....	19
1.16	Système d'avertissement de trafic et d'évitement d'abordages (TCAS/ACAS) .....	19
2.0	Analyse .....	21
2.1	Généralités .....	21
2.2	Limites du principe «voir pour éviter» .....	21
2.3	Manoeuvre d'évitement .....	22
2.4	Communication d'avis par la FSS .....	22
2.5	Zone de contrôle .....	23
2.6	Précision latérale du GPS .....	23
2.7	Utilisation du TCAS/ACAS et du transpondeur .....	24
3.0	Conclusions .....	25
3.1	Faits établis .....	25
3.2	Causes .....	26
4.0	Mesures de sécurité .....	27
4.1	Mesures prises .....	27
4.1.1	Mesures prises par l'exploitant .....	27
4.1.2	Mesures prises par Transports Canada .....	27
4.1.3	Procédures applicables aux zones d'utilisation de la MF .....	28
4.1.4	Sensibilisation au trafic dans les FSS .....	28
4.2	Mesures à prendre .....	29
4.2.1	Procédures d'espacement dans le cas d'aéronefs navigant au GPS .....	29
4.2.2	Évitement des collisions .....	30
4.2.3	TCAS/ACAS .....	31
5.0	Annexes	
	Annexe A - Répartition des débris .....	33
	Annexe B - Liste des rapports pertinents .....	35
	Annexe C - Sigles et abréviations .....	37

## 1.0 Renseignements de base

### 1.1 Déroulement du vol

Le Fairchild Swearingen Metro 23 du vol 362 de Bearskin transportait deux pilotes et un passager. Il était parti de Red Lake (Ontario) à 13 h, heure avancée du Centre (HAC)<sup>1</sup>, à destination de Sioux Lookout, conformément à un plan de vol établi selon les règles de vol aux instruments (IFR)<sup>2</sup>. À 30 milles marins (nm) environ au nord de Sioux Lookout, l'équipage a été autorisé par le centre de contrôle régional (ACC) de Winnipeg à effectuer une approche sur l'aéroport de Sioux Lookout.

Le Piper Navajo PA-31 du vol 3101 d'Air Sandy transportait un pilote et quatre passagers. Il était parti de Sioux Lookout à 13 h 23 pour effectuer un vol selon les règles de vol à vue (VFR) à destination de Red Lake. À 13 h 26, le pilote du vol 3101 d'Air Sandy a indiqué qu'il était hors de la zone de contrôle de Sioux Lookout. Aucune autre communication en provenance du vol d'Air Sandy n'a été entendue.

À 13 h 15, le contrôleur de l'ACC de Winnipeg a avisé le spécialiste de la station d'information de vol (FSS) de Sioux Lookout que le vol 362 de Bearskin, en provenance de Red Lake, se rapprochait, et qu'il estimait qu'il arriverait à Sioux Lookout à 13 h 32. À 13 h 27, l'équipage du vol 362 de Bearskin a appelé la FSS de Sioux Lookout et l'a avisée qu'il avait été autorisé à effectuer une approche et qu'il annulait son plan de vol IFR à 14 nm de l'aéroport. À 13 h 28, tandis qu'il donnait un avis consultatif d'aéroport au vol 362 de Bearskin, le spécialiste de la FSS de Sioux Lookout a entendu un signal de radiobalise de détresse (ELT) sur les fréquences de secours.

Quelques instants plus tard, le pilote du Beechcraft B-99 du vol 305 de Bearskin, qui volait dans le voisinage de Sioux Lookout, a avisé le spécialiste FSS qu'il venait juste d'apercevoir une boule de feu dans le ciel et qu'il allait essayer d'en déterminer la cause. Le pilote du vol 305 de Bearskin a indiqué que la boule de feu était tombée au sol et qu'un incendie venait de se déclarer dans une région boisée. Des recherches par radio ont été amorcées pour localiser l'avion du vol 362 de Bearskin, mais l'équipage de cet avion n'a pas répondu. Un aéronef du Service de recherches et de sauvetage (SAR) de Trenton (Ontario) et un hélicoptère du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario ont été dépêchés sur les lieux. On a confirmé que l'incendie avait été causé par l'avion d'Air Sandy. Le pilote de l'hélicoptère du ministère des Richesses naturelles a remarqué des débris et une nappe de carburant sur le lac Seul, situé tout près. Il a plus tard été confirmé que l'avion du vol 362 de Bearskin s'était écrasé dans le lac (voir l'annexe A).

Les deux avions sont entrés en collision en vol à 13 h 28, de jour, par 50° 14' de latitude Nord et 92° 07' de longitude Ouest<sup>3</sup>, dans des conditions météorologiques de vol à vue (VMC). Les trois occupants à bord de l'avion de Bearskin et les cinq occupants à bord de l'avion d'Air Sandy ont perdu la vie.

## 1.2 Victimes

### 1.2.1 Swearingen Metro 23 de Bearskin immatriculé C-GYYB

---

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

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

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

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	2	1	-	3
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/ indemnes	-	-	-	-
Total	2	1	-	3

### 1.2.2 Piper Navajo PA-31 d'Air Sandy immatriculé C-GYPZ

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	1	4	-	5
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/ indemnes	-	-	-	-
Total	1	4	-	5

### 1.3 Dommages aux aéronefs

Les deux avions ont été détruits.

### 1.4 Autres dommages

L'accident a causé des dégâts à l'environnement. Des arbres près du Navajo ont été endommagés, d'autres ont été brûlés. L'eau autour du Metro 23 a été contaminée par le carburant et l'huile qui se sont échappés de l'appareil.

### 1.5 Renseignements sur le personnel

#### 1.5.1 Swearingen Metro 23 de Bearskin immatriculé C-GYYB

	Commandant de bord	Premier officier
Âge	27 ans	30 ans
Licence	pilote de ligne	pilote de ligne
Date d'expiration du certificat de validation	1er octobre 1995	1er mai 1996
Nombre d'heures de vol	7 330	2 810

	Commandant de bord	Premier officier
Nombre d'heures de vol sur type en cause	580	355
Nombre d'heures de vol dans les 90 derniers jours	170	240
Nombre d'heures de vol sur type en cause dans les 90 derniers jours	170	240
Nombre d'heures de service avant l'événement	7	6
Nombre d'heures libres avant la prise de service	10	10

Le commandant de bord et le premier officier possédaient les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur. Les deux membres de l'équipage avaient reçu un entraînement répondant aux exigences de Transports Canada.



## 1.5.2 Piper Navajo PA-31 d'Air Sandy immatriculé C-GYPZ

	Commandant de bord
Âge	29 ans
Licence	pilote professionnel
Date d'expiration du certificat de validation	1er juin 1995
Nombre d'heures de vol	1 250
Nombre d'heures de vol sur type en cause	1 000
Nombre d'heures de vol dans les 90 derniers jours	140
Nombre d'heures de vol sur type en cause dans les 90 derniers jours	140
Nombre d'heures de service avant l'événement	5,5
Nombre d'heures libres avant la prise de service	12,5

Le commandant de bord possédait la licence et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur. L'entraînement qu'il avait reçu répondait aux exigences de Transports Canada.

1.5.3 *Spécialiste de l'information de vol*

Poste du spécialiste	air/sol
Âge	32 ans
Licence	non nécessaire
Date d'expiration du certificat de validation	14 juin 1997
Expérience	
- en qualité de spécialiste	7 ans
- dans l'unité actuelle	21 mois
Nombre d'heures de service avant l'événement	5,5
Nombre d'heures libres avant la prise de service	12

Il y avait deux spécialistes de l'information de vol dans la FSS; l'un assurait les services météorologiques, et l'autre, les communications air/sol. Lorsque l'accident s'est produit, le spécialiste assigné au service air/sol n'avait plus qu'à effectuer la moitié de sa dernière période de service de 12 heures, de son horaire de travail qui comprenait trois jours de service suivis de trois jours de repos. Il possédait les qualifications nécessaires pour remplir ses fonctions, et rien n'indique que des problèmes médicaux ou physiologiques aient pu perturber ses capacités. Les spécialistes FSS ne reçoivent pas de formation officielle sur les limites du principe «voir pour éviter», et cette formation n'est pas obligatoire.

## 1.6 Renseignements sur l'aéronef

### 1.6.1 Metro 23 de Bearskein immatriculé C-GYYB

Constructeur	Fairchild Aircraft Incorporated
Type	SA227-CC Metro 23
Année de construction	1993
Numéro de série	CC-827B
Certificat de navigabilité	valide
Nombre total d'heures de vol cellule	3 200,8
Type de moteur (nombre)	Garrett TPE331-11U-612G (2)
Type d'hélice (nombre)	McCauley 4HFR34C652-F (2)
Masse maximale autorisée au décollage	16 500 lb
Types de carburant recommandés	Jet A, Jet A-1, Jet B
Type de carburant utilisé	Jet B

L'avion pouvait transporter 19 passagers. La masse et le centrage de l'avion étaient dans les limites prescrites.

L'avion était entretenu conformément à un programme d'inspections progressives. Il avait fait l'objet d'une inspection n° 4 et d'une vérification longue escale le 27 avril 1995, c'est-à-dire 15 heures de vol avant l'accident. L'avion ne présentait aucun point d'entretien différé. L'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.

## 1.6.2 Piper Navajo PA-31 d'Air Sandy immatriculé C-GYPZ

Constructeur	Piper Aircraft Corporation
Type	PA-31-350 Navajo
Année de construction	1976
Numéro de série	31-7652168
Certificat de navigabilité	valide
Nombre total d'heures de vol cellule	6 784,4
Type de moteur (nombre)	Lycoming TIO-540-J2BD (2)
Type d'hélice (nombre)	Hartzell HC-E3YR-2ATF (2)
Masse maximale autorisée au décollage	7 250 lb
Types de carburant recommandés	essence aviation 100 LL (à basse teneur en plomb)
Type de carburant utilisé	essence aviation 100 LL (à basse teneur en plomb)

L'avion était équipé d'un générateur de tourbillons de Boundary Layer Research qui augmentait la masse maximale autorisée au décollage de l'avion de 7 000 à 7 250 livres. La masse et le centrage de l'avion étaient dans les limites prescrites.

Le 26 avril 1995, c'est-à-dire 17 heures de vol avant l'accident, le pilote automatique de l'avion avait été réparé, les deux altimètres avaient été recertifiés, et le transpondeur de l'avion avait été réparé et recertifié. Le rapport des travaux indiquait que le transpondeur présentait encore une faible puissance de sortie et qu'il était recommandé de remplacer le tube dans un avenir proche. Une vérification du circuit anémométrique de l'avion avait été effectuée. L'indicateur de situation horizontale (HSI) du pilote avait été enlevé le 21 septembre 1994 parce qu'il était lent, et il avait été remplacé par un gyro directionnel (DG).

L'avion avait fait l'objet d'une inspection des 100 heures le 28 avril 1995, c'est-à-dire 12 heures de vol avant l'accident. L'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.

## 1.7 Renseignements météorologiques

Les prévisions régionales pour Sioux Lookout émises à 12 h 30 le 1<sup>er</sup> mai 1995 étaient les suivantes : couche de cumulus fragmentés et couche de nuages épars dont la base se situait entre 4 000 et 5 000 pieds-mer et dont le sommet pouvait atteindre 8 000 pieds-mer; autres couches de nuages fragmentés et de nuages épars variables, entre 10 000 et 14 000 pieds-mer; visibilité supérieure à 6 milles; cumulus

bourgeonnants isolés, produisant des averses de pluie légères, dont le sommet pouvait atteindre 14 000 pieds-mer; niveau de congélation se situant entre 2 000 et 3 000 pieds-mer, et turbulences légères à nulles.

Les prévisions d'aérodrome pour Sioux Lookout au moment de l'accident étaient les suivantes : couche de nuages épars à 4 000 pieds-sol, plafond à 10 000 pieds-sol avec nuages fragmentés et visibilité supérieure à 6 milles; plafonds occasionnels à 4 000 pieds-sol et visibilité supérieure à 6 milles dans des averses de pluie légères.

Les observations météorologiques de 18 h Z signalées à Sioux Lookout 28 minutes environ avant l'accident étaient les suivantes : nuages épars à 3 500 pieds-sol, plafond estimé à 8 000 pieds-sol avec ciel couvert, visibilité de 15 milles, température de 9 degrés Celsius, point de rosée de -1 degré Celsius, et vents du 210 degrés vrai à 6 noeuds. Les conditions météorologiques de 18 h 51 Z signalées à Sioux Lookout, environ 23 minutes après la collision, étaient les suivantes : nuages épars à 4 000 pieds-sol, plafond estimé à 8 000 pieds-sol avec ciel couvert, et visibilité de 15 milles.

L'équipage de conduite du Beech 99 de Bearskin Airlines, qui volait dans la zone au moment de l'accident, a indiqué qu'il se trouvait dans des conditions VMC à ce moment-là; il a vu une lueur vive apparaître soudainement, puis des débris et une boule de feu tomber vers le sol. Il a déclaré qu'il volait à une altitude de 4 000 pieds-mer environ et qu'il se trouvait entre 5 et 6 nm à l'est de l'endroit où l'explosion s'est produite. L'équipage de conduite a indiqué que la visibilité était illimitée sous un plafond opaque situé à 6 500 pieds-mer environ et que la lumière du soleil ne traversait pas directement ce plafond opaque.

### *1.8 Aides à la navigation*

Chaque avion était équipé d'un système de positionnement mondial (GPS). Le récepteur GPS des avions de Bearskin est branché directement au HSI, et les procédures de la compagnie stipulent que les pilotes doivent utiliser le GPS comme aide aux systèmes primaires de navigation. Les procédures de la compagnie Air Sandy stipulent également que les pilotes doivent utiliser le GPS comme aide à la navigation. Le Système de la navigation aérienne au Canada utilise de plus en plus le GPS vu qu'il s'agit d'un système de navigation précis et peu coûteux.

Les voies aériennes sont conçues de façon à avoir une largeur de 8 nm (8,6 pour le radiophare non directionnel [NDB]) à l'endroit le plus étroit. Cette largeur tient compte de l'inexactitude de l'émetteur au sol et de celle des récepteurs des aéronefs. Toutefois, on considère que les récepteurs GPS sont précis à  $\pm 300$  pieds et qu'ils indiquent les écarts de route de 0,1 nm; en fait, la voie aérienne a maintenant une largeur de 600 pieds. Une bonne partie de l'erreur de précision de  $\pm 300$  pieds est délibérément introduite au hasard par les militaires des États-Unis dans le but d'interdire les signaux de très haute précision aux aéronefs militaires hostiles.

Si deux avions utilisant le GPS volent sur la même route et se trouvent au même endroit, ils peuvent recevoir le même signal. Même s'ils se trouvent à 300 pieds de leur position prévue relativement au sol, la distance entre les deux avions peut être beaucoup moins grande (cf. rapport technique LP 95/95). Par conséquent, le GPS a réduit considérablement l'espacement latéral des aéronefs qui volent sur des trajectoires censées identiques.

Depuis la mise en service du GPS, les procédures établies n'ont pas été modifiées pour tenir compte du fait que les aéronefs qui naviguent à l'aide du GPS courent de plus grands risques de collision en vol. Transports Canada reconnaît le problème et a publié un dépliant qui traite de l'utilisation des procédures de décalage relatives au GPS pour assurer l'espacement en route. Bien que les renseignements en question proposent l'utilisation d'une route décalée lorsque la navigation est effectuée à l'aide du GPS, il

n'existe pas de procédures établies permettant d'assurer que tous les pilotes qui utilisent le GPS décalent leurs routes. Si les procédures d'espacement entre les aéronefs ne sont pas utilisées, la probabilité de collision entre des aéronefs qui utilisent le GPS est beaucoup plus élevée que dans le cas des aéronefs qui utilisent des aides à la navigation conventionnelles.

## *1.9 Caractéristiques du principe «voir pour éviter»*

### *1.9.1 Généralités*

La sécurité des vols VFR est fondée sur le principe «voir pour éviter». Pour que ce principe soit efficace, il faut que l'équipage de conduite voit l'autre aéronef sur la trajectoire de collision à temps pour prendre des mesures d'évitement. La capacité d'un pilote à apercevoir un autre aéronef est affectée par de nombreux facteurs, y compris les limites physiologiques de l'oeil et du système de réponse motrice de l'être humain, la conscience du pilote de la présence d'un autre aéronef, le champ de vision dont dispose le pilote, les obstacles dans ce champ de vision, la visibilité de l'aéronef, les techniques de balayage visuel du pilote, et la charge de travail du pilote.

### 1.9.2 Facteurs physiologiques

Les limites physiologiques de l'oeil et du système de réponse motrice de l'être humain réduisent l'efficacité du principe «voir pour éviter» lorsque la vitesse de rapprochement relative de l'aéronef augmente.

Les principaux éléments limitatifs physiologiques sont les suivants :

- a. si le danger n'est pas imminent et que le temps pour réagir est suffisant, la capacité de l'oeil à percevoir l'information voulue est limitée; toutefois,
- b. si le danger est suffisamment imminent pour permettre à l'oeil de percevoir l'information voulue, le temps disponible pour permettre le traitement de l'information et produire une réponse motrice peut alors être insuffisant.

### 1.9.3 Avis de circulation

Il est reconnu que les avis de circulation améliorent la capacité du pilote à établir le contact visuel avec un autre aéronef. L'avis donne un avertissement sur les possibilités de conflit et permet à l'équipage d'avoir plus de temps pour faire sa recherche visuelle. De plus, l'avis permet au pilote de regarder dans la bonne direction.

Des recherches effectuées par le Lincoln Laboratory<sup>4</sup> au cours d'essais en vol à l'aide du Système d'avertissement de trafic et d'évitement d'abordages (TCAS/ACAS) ont montré que les pilotes à qui on avait signalé la présence d'un autre appareil avaient aperçu l'appareil dans 57 cas sur 66; la perception visuelle était en moyenne de 1,4 nm. Toutefois, les pilotes à qui on n'avait pas signalé la présence d'un autre appareil n'ont aperçu l'appareil que dans 36 cas sur 64; dans les cas de réussite, la perception visuelle moyenne diminuait à 0,99 nm.

Ces études ont montré que les renseignements donnés verbalement aux pilotes sur la direction dans laquelle il devait regarder augmentait la probabilité de détection chez les pilotes. Ces mêmes études ont révélé que les pilotes à qui on avait signalé la présence d'un autre appareil avaient huit fois plus de chances de voir l'appareil que les pilotes à qui on n'avait pas donné ce renseignement.

---

<sup>4</sup> J.W. Andrews, "Modeling of Air-to-Air Visual Acquisition" dans *The Lincoln Laboratory Journal*, volume 2, numéro 3 (1989), p. 478.

#### 1.9.4 *Visibilité à partir du poste de pilotage*

La conception du poste de pilotage a une incidence sur le champ visuel. Notamment, des obstacles comme les montants de fenêtres cachent certaines zones autour de l'aéronef. Les pilotes doivent modifier consciemment la position de leur tête pour regarder de chaque côté de ces obstacles.

#### 1.9.5 *Visibilité des aéronefs sur une trajectoire de collision*

L'oeil a des limites physiques. Par exemple, l'oeil est particulièrement exercé à percevoir le mouvement, mais il a plus de mal à percevoir les objets immobiles. Malheureusement, à cause des trajectoires de vol, un aéronef volant sur une trajectoire de collision semblera être un objet immobile dans le champ visuel du pilote.

Le contraste entre un aéronef et son arrière-plan et la taille apparente d'un aéronef sont deux des facteurs qui influent sur la capacité d'apercevoir un aéronef. Les pilotes d'un autre appareil qui évoluaient à proximité du lieu de l'accident ont déclaré qu'au moment de l'accident le ciel était couvert d'une couche de nuages à 6 500 pieds-mer environ. Les pilotes ont également déclaré que rien ne faisait obstacle à la visibilité en vol. Comme les avions accidentés étaient blancs et beige clair, il aurait été assez difficile de les distinguer de leur arrière-plan ou des nuages.

Presque toute la neige du secteur avait fondu, sauf dans les bois où elle n'avait fondu qu'un peu. Toutefois, quelques lacs de la zone où s'est produit l'accident étaient encore couverts de glace et, du haut des airs, ils paraissaient blancs. À cause de la surface gelée des lacs, de la neige et de la topographie de la zone, les deux avions étaient plus difficiles à apercevoir.

#### 1.9.6 *Technique de balayage visuel des pilotes*

La technique de balayage visuel du pilote est influencée par le niveau et la complexité de ses autres tâches et par son niveau de stress par rapport au risque de collision.

Selon les procédures de la compagnie, le pilote du Navajo devait monter à une vitesse inférieure à la vitesse ascensionnelle optimale afin d'assurer un écoulement d'air adéquat autour du moteur à des fins de refroidissement. À cette vitesse ascensionnelle, l'avion aurait atteint l'altitude de croisière avant l'impact. Les vérifications de mise en palier du Navajo demandent que le pilote regarde momentanément à l'intérieur du poste de pilotage et jette un coup d'oeil aux instruments de vol et de moteur afin de régler le régime de croisière.

Les pilotes du Metro préparaient l'atterrissage et parlaient au spécialiste FSS. L'enregistreur phonique (CVR) a révélé que l'équipage avait également parlé de l'approche et de l'atterrissage, qu'il avait effectué des vérifications et qu'il avait parlé au personnel de la compagnie par radio.

#### 1.9.7 *Facteurs influant sur la détection visuelle*

Pour que le principe «voir pour éviter» soit efficace, il faut que le pilote puisse établir le contact visuel avec l'autre aéronef, reconnaître une trajectoire de collision d'après des indices visuels et réagir judicieusement et à temps pour éviter une collision en vol.

Dans une situation de collision en vol possible, les limites physiologiques de l'oeil, la technique de balayage visuel du pilote, les caractéristiques de l'autre aéronef, le temps de réaction du pilote, la vitesse et la conception de l'aéronef, et de nombreux autres facteurs influent sur la capacité du pilote à établir le contact visuel avec l'autre aéronef et à l'éviter. Si l'on suppose que le pilote regarde dans la bonne direction, sa capacité d'apercevoir un autre aéronef dépend en grande partie de la taille de l'autre



aéronef. Le pilote ne peut voir un aéronef que lorsque la taille de cet aéronef devient suffisamment importante pour satisfaire à la capacité de résolution minimale de l'oeil. Les avions commerciaux ou d'affrètement semblables aux avions en cause dans le présent accident, devraient, dans de bonnes conditions, pouvoir être décelés à une distance approximative de 1 à 1,5 nm. Le contraste avec l'arrière-plan, l'assiette et la trajectoire de vol relative d'un aéronef peuvent influencer sur cette distance de perception, et ces facteurs réduisent souvent cette distance de façon importante.

#### 1.9.8 *Limites des réactions humaines*

Établir le contact visuel avec un aéronef en vol n'est pas le seul problème que pose le principe «voir pour éviter». Des études<sup>5</sup> ont révélé que le temps minimal dont a besoin un être humain pour traiter l'information et réagir est de six à neuf secondes. En outre, en vol, il y a un retard supplémentaire à cause de l'inertie de l'aéronef. Par conséquent, le temps total de réaction dont a besoin le pilote pour reconnaître et analyser les données visuelles, puis modifier la trajectoire de vol, pourrait atteindre 12 secondes<sup>6</sup>, si l'on suppose que le pilote est vigilant et qu'il effectue un balayage visuel.

À des vitesses de rapprochement de l'ordre de 410 noeuds, le pilote devrait voir l'aéronef qui approche à une distance minimale de 1,4 nm (12 secondes) environ, pour avoir le temps de prendre des mesures d'évitement efficaces. Les données d'une étude effectuée au Massachusetts Institute of Technology (MIT) (cf. rapport technique LP 86/95) ont permis d'établir que le pilote d'Air Sandy avait 13 % de chances d'apercevoir l'avion de Bearskin 12 secondes avant l'impact; toutefois, il n'avait que 6 % de chances d'apercevoir l'avion de Bearskin 20 secondes (2,3 nm) avant l'impact.

À mesure que les deux avions se rapprochaient l'un de l'autre, les chances qu'ils établissent le contact visuel augmentaient. À l'aide des mêmes données de l'étude du MIT, on a déterminé que, 20 secondes avant l'impact, les pilotes de Bearskin avaient 7 % de chances d'apercevoir l'avion d'Air Sandy. Douze secondes (1,4 nm) avant l'impact, les pilotes de Bearskin avaient 16 % de chances d'apercevoir l'avion d'Air Sandy; 4,4 secondes (0,5 nm) avant l'impact, les pilotes de Bearskin auraient eu 53 % de chances d'apercevoir l'avion d'Air Sandy; 3,5 secondes (0,4 nm) avant l'impact, le pilote d'Air Sandy aurait eu 52 % de chances d'apercevoir l'avion de Bearskin. Ces probabilités ont été déterminées à l'aide de données basées sur des conditions de vol optimales sans restriction du champ visuel des pilotes. Les éléments qui peuvent restreindre le champ visuel du pilote sont l'assiette de l'aéronef, la cellule de l'aéronef, un montant de pare-brise, les dimensions du pare-brise, des saletés, des égratignures ou des moustiques sur le pare-brise.

#### 1.9.9 *Techniques d'évitement des pilotes*

Si l'on suppose qu'un pilote peut apercevoir un autre aéronef en vol et déterminer que cet appareil pose un danger, l'étape finale dans la séquence du principe «voir pour éviter» est alors de prendre des mesures d'évitement efficaces pour augmenter l'espacement entre les aéronefs. L'efficacité des mesures dépend d'un certain nombre de facteurs. En général, l'un ou l'autre des pilotes peut modifier la vitesse, l'altitude et le cap de l'aéronef. Puisque chacune de ces mesures influe différemment sur les facteurs, il est essentiel que le pilote prennent des mesures qui donneront le résultat escompté<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> Anchar F. Zeller, *Human Reaction Time*, ISASI Forum, octobre 1981, p. 12-13.

<sup>6</sup> Harold F. Marthinsen, *Another Look at the See-and Avoid Concept*. ISASI Forum, décembre 1989, p. 82 à 103.

<sup>7</sup> J.L. Harris, Sr., *"Avoid", The Unanalysed Partner of "See"*, ISASI Forum n° 2, 1983, p. 12 à 17.

Les mesures d'évitement que le pilote doit prendre pour obtenir les meilleurs résultats possible dépendent du temps à sa disposition. Des recherches<sup>8</sup> ont révélé que, plus de 10 secondes avant le moment de rapprochement le plus critique, le pilote doit faire des manoeuvres qui combinent une vitesse, une altitude et un cap modifiés. Toutefois, une fois que les aéronefs sont à moins de 10 secondes environ de l'impact, le pilote doit modifier l'altitude seulement. Cette conclusion est basée sur l'argument que lorsque deux aéronefs sont très rapprochés, il est essentiel de réduire au minimum les surfaces transversales relatives de chaque aéronef. On a découvert que dans ces circonstances, en général, toute inclinaison latérale augmente la surface transversale relative et, par conséquent, la probabilité de l'impact<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> J.L. Harris, Sr., p. 16.

<sup>9</sup> J.L. Harris, Sr., p. 16.

Par exemple, un Piper Navajo semblable à l'avion accidenté aura une section transversale verticale de 13 pieds environ en vol en palier. À des angles d'inclinaison latérale compris entre 45 et 60 degrés, la section transversale verticale sera de 28 à 34 pieds. La valeur finale de la section transversale verticale dépendra de l'envergure des ailes de l'avion et de l'angle d'inclinaison latérale sollicité.

Le programme d'entraînement en vue d'obtenir une licence de pilote civil au Canada ne comprend pas d'entraînement officiel sur la façon de reconnaître les facteurs géométriques de collision en vol et d'exécuter les meilleures manœuvres d'évitement possible.

## *1.10 Renseignements sur l'aérodrome*

### *1.10.1 Généralités*

L'aéroport de Sioux Lookout est situé par 50° 06' de latitude Nord et 91° 54' de longitude Ouest. Il est exploité par la municipalité de Sioux Lookout en vertu d'un certificat. L'altitude du terrain est de 1 280 pieds-mer. La piste principale est orientée au 160/340 degrés magnétique; elle mesure 4 500 de longueur sur 100 pieds de largeur, et sa surface est asphaltée. L'aéroport est desservi par un NDB et un émetteur d'équipement de mesure de distance (DME). La zone de contrôle s'étend dans un rayon de 5 nm autour de l'aéroport, de la surface de la terre jusqu'à une altitude de 4 300 pieds-mer. Il y a un corridor triangulaire dans la section ouest de la zone de contrôle qui est exempté de l'obligation d'utiliser la fréquence obligatoire (MF), au-dessous de 700 pieds-sol. Ce corridor permet aux hydravions d'avoir accès au lac et à la ville, sans avoir à pénétrer dans la zone de contrôle. La FSS est située sur l'aéroport et donne, entre autres, des renseignements sur le trafic aux pilotes qui évoluent dans la zone. Les aéronefs qui évoluent en IFR, à l'arrivée et au départ de Sioux Lookout, sont contrôlés par l'ACC de Winnipeg.

### *1.10.2 Installations et exploitation de la FSS*

En général, un grand nombre de personnes utilisent les services de la FSS de Sioux Lookout car des vols réguliers de Bearskin Airlines et d'Air Sandy, des vols d'affrètement de plusieurs transporteurs commerciaux et des aéronefs des environs empruntent l'aéroport de Sioux Lookout. En outre, dans la région de Sioux Lookout, il y a une base d'hydravions et une base du ministère des Richesses naturelles; ces bases sont situées à plusieurs milles de l'aérodrome.

Les tâches et les fonctions des spécialistes FSS sont stipulées dans le *Manuel d'exploitation des Services d'information de vol* (MANOPS FSS). Le MANOPS FSS stipule la priorité des tâches et les procédures relatives aux services fournis par les FSS.

### 1.10.3 *Équipement du spécialiste FSS*

Le spécialiste FSS est chargé de fournir des renseignements consultatifs d'aéroport aux aéronefs évoluant à partir ou en direction d'un endroit situé à l'intérieur de la zone d'utilisation de la MF. Conformément aux exigences du MANOPS FSS, le spécialiste FSS qui donne un avis consultatif doit fournir un sommaire des renseignements pertinents connus sur le trafic qui pourraient affecter la sécurité de l'aéronef. Les pilotes doivent assurer leur propre espacement par rapport aux autres aéronefs (principe «voir pour éviter») lorsqu'ils volent dans des conditions VMC. Le spécialiste FSS n'a pas prévenu directement le pilote d'Air Sandy que l'avion du vol 362 de Bearskin en provenance de Red Lake se rapprochait; toutefois, il a prévenu deux autres avions, sur la MF, du rapprochement du vol 362 de Bearskin, pendant que le vol 3101 d'Air Sandy était à l'écoute de cette fréquence. Les pilotes sont tenus d'être à l'écoute de la MF.

Le spécialiste FSS peut communiquer avec l'ACC de Winnipeg par une ligne terrestre pour obtenir des renseignements sur le trafic IFR; toutefois, le spécialiste FSS dispose d'outils limités pour reconnaître les aéronefs et déterminer l'endroit où ils se trouvent. Le spécialiste de la FSS de Sioux Lookout disposait d'un tableau de tracés de navigation sur lequel il indiquait les tracés qui identifiaient les aéronefs dans sa zone. Il pouvait également compter sur les rapports de position transmis sur les fréquences de 122,0 (la MF) et de 126,7 mégahertz (MHz). Prendre ce type de renseignements sur les aéronefs et se faire une image mentale des divers aéronefs et de leurs positions les uns par rapport aux autres est plus difficile sans repères visuels adéquats.

La plupart des contrôleurs des ACC peuvent consulter un écran radar pour obtenir des renseignements sur le trafic. Les renseignements affichés sur l'écran radar permettent au contrôleur d'identifier les aéronefs et d'avoir une image des aéronefs qui se trouvent dans sa zone de contrôle. Certaines tours de contrôle situées près d'emplacements radar sont équipées d'ordinateurs personnels qui affichent des images radar des aéronefs qui volent dans leur zone. Les contrôleurs d'aéroport n'utilisent pas les données radar pour assurer l'espacement des avions, mais ils les utilisent pour indiquer leur position. La FSS de Sioux Lookout possédait un équipement radiogoniométrique (VDF) très haute fréquence (VHF). Les données sont indiquées sur un affichage numérique et fournissent une indication du relèvement d'un aéronef à partir du site VDF. Ce procédé est basé sur un signal radio provenant de l'aéronef. Toutefois, le VDF ne fournit pas de renseignements sur la distance.

### 1.10.4 *Procédures des transporteurs aériens relativement aux radiofréquences*

Pour les départs VFR de Sioux Lookout, les procédures de la compagnie Air Sandy exigent que le pilote effectue ses communications sur la MF jusqu'à ce qu'il soit hors de la zone de contrôle, puis qu'il passe à la fréquence en route de 122,8 MHz. La deuxième radio à bord doit afficher la fréquence de 126,7 MHz ou de 122,0 MHz. Le pilote doit passer à la fréquence de 122,8 MHz avant de se trouver à une distance de 10 milles de l'aéroport.

Le vol 362 de Bearskin en route vers Sioux Lookout affichait la fréquence de l'ACC de Winnipeg. Après que l'ACC de Winnipeg l'a autorisé à effectuer l'approche et qu'il lui a demandé de communiquer avec la FSS de Sioux Lookout, l'équipage du vol de Bearskin a attendu 70 secondes environ avant de communiquer avec la FSS. Ce retard était voulu parce que l'équipage voulait attendre d'être hors des nuages pour pouvoir annuler son autorisation IFR et continuer le vol en VFR. S'il avait communiqué avec la FSS de Sioux Lookout dès qu'on lui a demandé, il n'aurait malgré tout pas entendu le message du pilote de l'avion d'Air Sandy qui annonçait qu'il était hors de la zone. Toutefois, le spécialiste FSS aurait eu plus de temps pour transmettre à l'équipage de l'avion de Bearskin les renseignements pertinents essentiels.

## 1.11 *Enregistreurs de bord*

L'épave du Metro 23 reposait par 30 pieds de fond. Un récepteur d'hydrophone à accord continu a été utilisé pour localiser les balises de localisation sous-marines de l'enregistreur de données de vol (FDR) et du CVR. Les enquêteurs ont eu de la difficulté à localiser les balises sous-marines des enregistreurs parce que l'anneau du transducteur des deux balises a subi des dommages à l'impact, ce qui a affaibli le signal de sortie au-delà des spécifications du constructeur.

Le FDR et le CVR du Metro 23 ont fourni des données précieuses pour l'enquête. Le FDR a révélé que l'équipage de l'avion de Bearskin n'a pas effectué de manoeuvres d'évitement avant l'impact et que la collision en vol s'est produite à 4 500 pieds-mer. Rien n'indique que des problèmes mécaniques aient contribué à l'accident. La vitesse de l'avion de Bearskin pendant la descente était de 250 noeuds environ, et elle est passée à 230 noeuds environ avant la collision. Selon le CVR, rien n'indique que l'équipage de l'avion de Bearskin ait vu l'avion d'Air Sandy. Le CVR a également révélé que l'équipage de l'avion de Bearskin avait allumé les feux d'identification de l'avion pendant la descente sur Sioux Lookout, conformément aux procédures de la compagnie.

L'avion d'Air Sandy n'était pas équipé d'un FDR ni d'un CVR, ce qui n'était pas contraire à la réglementation.

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

Les débris des deux épaves étaient répartis sur une zone d'un mille et demi sur un-demi mille environ. Les grandes sections du Metro de Bearskin ont été trouvées dans l'eau (site n° 1). L'avion a heurté l'eau à grande vitesse et a été détruit. Les indices ont révélé que l'avion était la proie des flammes avant de heurter le plan d'eau. Les grandes sections de l'épave du Navajo d'Air Sandy ont été trouvées au sol (site n° 2), où la majeure partie de l'avion a été consumée par l'incendie qui s'est déclaré après l'accident.

#### *1.12.1 Site n° 1 - Renseignements sur l'épave du Metro et sur l'impact*

La majeure partie de l'épave du Metro de Bearskin reposait par 30 pieds de fond, à peu près à 200 pieds au sud d'une île située à l'ouest de Devil's Elbow, dans le lac Seul. Les débris n'occupaient qu'une petite surface au fond du lac, ce qui indique que l'avion a heurté l'eau pratiquement à la verticale. De nombreux morceaux de l'avion flottaient en aval, dans les chenaux, de chaque côté de la pointe Devil's Elbow. On pouvait voir des bulles et une nappe d'huile et de carburant à la surface de l'eau à l'endroit où reposait l'épave au fond du lac.

On a sorti le moteur gauche, le train d'atterrissage gauche et la structure du logement de train de l'eau en un seul bloc. Le train d'atterrissage était sorti quand il a été sorti de l'eau; toutefois, les dommages au moulage du galet verrou train rentré du logement de train principal et ceux subis par le roulement du galet de verrou train rentré de la trappe de train indiquent que le train d'atterrissage était rentré avant l'impact et qu'il a été forcé hors de son logement pendant l'écrasement. Des morceaux du moyeu de l'hélice gauche étaient fixés au flasque du moteur; les autres morceaux du moyeu d'hélice et les pales d'hélice n'ont pas été retrouvés. Le moteur et l'hélice droits n'ont pas été retrouvés.

On a sorti le train d'atterrissage droit et la structure du logement de train de l'eau en un seul bloc. Le train était rentré, et les deux pneus étaient dégonflés et déjantés. Le logement du train d'atterrissage était fendu et ouvert verticalement sur sa longueur après avoir été entraîné obliquement vers l'arrière, et un morceau de revêtement d'aile du Navajo était coincé entre les freins de roue. L'aile, du côté extérieur du fuseau moteur, était sectionnée à un angle de 45 degrés environ.

Le plancher de l'avion, du poste de pilotage jusqu'à la queue, a été sorti de l'eau en un seul morceau; il était écrasé de telle façon qu'il n'avait plus que 1/5 environ de sa longueur initiale. Le plafond et les

parois latérales étaient ouverts, froissés et fragmentés. De la suie était visible sur des morceaux de la structure droite du fuselage et sur l'extrados et l'intrados du stabilisateur droit et sur la gouverne de direction. Le tableau de bord s'était détaché et fragmenté en petits morceaux qui reposaient au fond du lac; un seul altimètre a été récupéré.

L'aile droite du Metro de Bearskin, du côté extérieur du fuseau moteur droit, et des morceaux d'une casserole d'hélice et de l'enveloppe de tuyère d'éjection du Metro ont été retrouvés au sol, à peu près à mi-chemin entre les deux épaves. L'aile était sectionnée à un angle de 45 degrés environ, ce qui correspond aux dommages de l'aile retrouvée où le Metro reposait. À ce même endroit, il y avait de nombreux morceaux d'aile droite et d'aileron droit du Navajo.

### *1.12.2 Site n° 2 - Renseignements sur l'épave du Navajo et sur l'impact*

La majeure partie du Navajo reposait au sol à 1,2 nm environ au nord-ouest du site n° 1. L'avion est descendu dans les arbres au cap de 320 degrés magnétique environ, dans une assiette de piqué de 65 degrés environ, l'aile gauche basse. La section avant de l'avion a heurté le sol et s'est déplacée vers l'avant; le reste de l'avion s'est enfoncé dans le sol partiellement gelé. L'incendie qui s'est déclaré après l'écrasement a consumé la majeure partie de la cabine. Les deux moteurs ont été retrouvés dans le cratère.

On a retiré du cratère la queue et la structure de l'aile gauche jusqu'au fuseau moteur droit, et on les a partiellement reconstruites. La reconstruction a montré que la majeure partie de la structure de l'aile droite, du côté extérieur du fuseau moteur, était manquante. Le reste de l'avion semblait être là. On a retrouvé les trois trains d'atterrissage; le train droit était rentré dans son logement.

### *1.12.3 Examen des systèmes*

Il n'a pas été possible de faire un examen complet de tous les systèmes à cause de la destruction presque complète des deux avions. Toutefois, les profils de vol des avions, basés sur les données du CVR et du FDR du Metro 23 de Bearskin, indiquent que les avions ne présentaient probablement aucun problème mécanique ni aucun problème relatif au circuit de commandes de vol avant la collision.

### *1.12.4 Reconstruction des épaves*

La reconstruction partielle des deux épaves a révélé que les avions se sont heurtés pratiquement de face à un angle d'inclinaison latérale prononcé. Puisque le FDR et le CVR du Metro n'ont révélé aucune sollicitation soudaine d'inclinaison, il est probable que le Navajo d'Air Sandy effectuait un virage à gauche prononcé au moment de l'impact initial. L'examen de l'épave a révélé que l'aile droite du Navajo a heurté le nez du Metro avant de toucher l'hélice droite du Metro. L'hélice droite du Metro s'est brisée en morceaux à ce moment-là, et le moteur a été arraché de ses supports. Des parties de l'aile droite du Navajo ont déplacé le train d'atterrissage principal droit du Metro vers l'arrière et vers l'extérieur et ont sectionné l'aile droite du Metro à un angle de 45 degrés, du côté extérieur du fuseau moteur. L'aile droite du Navajo, du côté extérieur du fuseau moteur, a été complètement brisée en morceaux à ce moment-là, et les deux avions, auxquels il manquait une aile, sont descendus presque verticalement jusqu'au sol.

## *1.13 Incendie*

Des témoins ont vu un éclair dans le ciel, suivi d'un trait de lumière se terminant par une explosion, ce qui a été pris pour des feux d'artifice. Après l'explosion, ils ont vu un objet tomber vers le sol et, plus tard, de la fumée qui s'élevait de l'endroit où l'impact s'est produit. On a par la suite déterminé que c'est à cet endroit que le Navajo d'Air Sandy s'est écrasé.

Les deux avions ont perdu leur aile droite lors de la collision en vol. Les deux ailes contenaient des réservoirs souples de carburant qui ont éclaté à l'impact. La suie sur la queue du Metro de Bearskin indique que l'avion était la proie des flammes avant de toucher l'eau. Le Navajo d'Air Sandy a été consumé par l'incendie qui s'est déclaré après l'impact au sol.

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

La collision s'est produite à une vitesse de rapprochement approximative de plus de 400 noeuds et à une altitude de 3 200 pieds-sol environ. Les deux avions ont subi des dommages structuraux au

moment de la collision. Dans chaque cas, des parties d'une aile ont été détruites lors de la collision, et les deux avions ont amorcé une brusque descente incontrôlable. La collision et l'impact au sol ou sur l'eau ont dû se traduire par un facteur de charge supérieur aux limites de la résistance humaine.

### 1.15 *Télécommunications*

L'avion de Bearskin en rapprochement et qui évoluait en IFR était passé de la fréquence de l'ACC de Winnipeg à la MF, tandis que l'avion d'Air Sandy en éloignement et qui évoluait en VFR passait normalement de la MF à la fréquence de 122,8 MHz. La seule fréquence commune aux deux avions aurait été la MF et, lorsque la collision s'est produite, les deux avions étaient bien à l'extérieur de la zone d'utilisation de la MF de 5 nm.

De nombreux pilotes qui volent dans le nord-ouest de l'Ontario utilisent la fréquence de 122,8 MHz pour les communications en route au lieu de la fréquence de 126,7 MHz. La fréquence de 122,8 MHz n'est pas publiée dans le *Supplément de vol - Canada* pour la région de Sioux Lookout. Les pilotes qui utilisent la fréquence publiée de 126,7 MHz ou la MF ne peuvent pas entendre les pilotes qui utilisent la fréquence de 122,8 MHz dans la zone en question, et ils peuvent être privés de renseignements utiles sur le trafic. De même, les pilotes qui utilisent la fréquence de 122,8 MHz ne reçoivent pas les renseignements sur le trafic fournis par les pilotes qui utilisent la fréquence de 126,7 MHz ou la MF.

### 1.16 *Système d'avertissement de trafic et d'évitement d'abordages (TCAS/ACAS)*

Le TCAS/ACAS est conçu pour fonctionner indépendamment du contrôle de la circulation aérienne. Il fournit aux pilotes des renseignements sur le trafic pour les aider à établir le contact visuel avec les autres avions. Le TCAS/ACAS I est un système moins perfectionné qui affiche le trafic à proximité et donne des avis de circulation (TA) sans toutefois donner de directives pour éviter les collisions possibles. Le TCAS/ACAS II fournit des TA et des avis de résolution (RA) sous la forme de recommandations de manoeuvres d'évitement dans le plan vertical. Le TCAS/ACAS utilise les transpondeurs radar des autres aéronefs; plus précisément, les signaux de base du transpondeur sont utilisés pour fournir les données sur l'azimut et la distance; le mode C donne l'altitude de l'aéronef aux 100 pieds les plus proches, et le mode S donne des renseignements sur les intentions de manoeuvre, qui sont utilisés pour interpréter la géométrie verticale nécessaire à la production de RA. Lorsqu'une cible est captée et affichée, le processeur du TCAS/ACAS met à jour les affichages et les avis connexes pendant tout le temps que les signaux du transpondeur sont reçus et jusqu'à ce que la cible ne constitue plus une menace ou qu'elle se déplace au-delà des paramètres d'affichage. Les aéronefs qui ne sont pas équipés d'un transpondeur ne peuvent pas être détectés par les aéronefs équipés d'un TCAS/ACAS.

Le TCAS/ACAS a été mis au point aux États-Unis par la Federal Aviation Administration (FAA). Les États-Unis sont le seul pays où l'utilisation du TCAS/ACAS est obligatoire. Depuis le 31 décembre 1995, tous les avions comprenant entre 10 et 30 sièges passagers qui évoluent dans l'espace aérien des États-Unis doivent être équipés du TCAS/ACAS I. Depuis le 30 décembre 1993, tous les avions comprenant plus de 30 sièges passagers doivent être équipés du TCAS/ACAS II. Rien n'oblige les avions qui volent au Canada à être équipés d'un TCAS/ACAS, et aucun des deux avions accidentés n'était équipé de ce système.



## 2.0 *Analyse*

### 2.1 *Généralités*

Les pilotes des deux avions possédaient les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur, et rien n'indique que des facteurs physiologiques aient pu perturber leurs capacités de naviguer en toute sécurité. Les deux avions ne présentaient aucune anomalie mécanique qui aurait pu contribuer à l'accident. La seule mesure d'évitement évidente a été prise par le pilote d'Air Sandy; toutefois, cette mesure n'a pas été prise assez tôt pour éviter l'accident.

Il s'agit d'une situation VFR typique puisque les deux avions volaient dans des conditions de vol à vue; toutefois, plusieurs facteurs se sont combinés et ont donné lieu à une situation où les risques de collision étaient grands. Par conséquent, l'analyse portera sur la capacité des pilotes à voir l'autre avion, sur les limites du principe «voir pour éviter», sur la précision latérale du GPS, sur les raisons pour lesquelles les pilotes n'ont pas été prévenus, sur les effets des vitesses de rapprochement élevées, sur le manque apparent de compréhension de la part des pilotes des meilleures manoeuvres d'évitement possible, et sur d'autres facteurs qui ont pu contribuer à l'accident.

### 2.2 *Limites du principe «voir pour éviter»*

Le principe «voir pour éviter» est utilisé principalement pour assurer l'espacement entre les aéronefs dans des conditions de vol à vue. Toutefois, à cause des limites physiologiques de l'oeil et du système de réponse motrice de l'être humain, il peut être dangereux de se fier à ce système comme moyen principal d'espacement. Cela est particulièrement vrai dans des situations qui comportent des facteurs de collision frontale et des vitesses de rapprochement élevées; les risques relatifs au principe «voir pour éviter» augmentent lorsque la vitesse de rapprochement relative de l'aéronef augmente.

Dans le cas qui nous occupe, le Metro de Bearskin était descendu à une vitesse de 250 noeuds environ et décélérait à 230 noeuds environ. Le Navajo venait probablement tout juste de se mettre en palier après une montée en route et devait être en train d'accélérer afin d'atteindre la vitesse de croisière d'environ 180 noeuds prévue au plan de vol. À une vitesse de rapprochement d'environ 410 noeuds, et 12 secondes avant l'impact, les pilotes de l'avion de Bearskin avaient moins de 16 % de chances d'apercevoir l'avion d'Air Sandy, tandis que le pilote de l'avion d'Air Sandy avait moins de 13 % de chances d'apercevoir l'avion de Bearskin. Ce n'est que moins de 4,4 secondes avant l'impact dans le cas des pilotes de l'avion de Bearskin, et que moins de 3,5 secondes avant l'impact dans le cas du pilote de l'avion d'Air Sandy, que ces pilotes avaient au moins 50 % de chances d'apercevoir l'autre avion. Il est donc probable que le pilote de l'avion d'Air Sandy a aperçu le Metro et qu'il a tenté d'effectuer une manoeuvre d'évitement.

Il faut 12 secondes pour voir un autre aéronef et l'éviter, mais il est douteux qu'un pilote puisse effectivement éviter un autre aéronef sur une trajectoire de collision frontale à une vitesse de rapprochement élevée.

La transmission des renseignements consultatifs par les Services de la circulation aérienne (ATS) et la surveillance des fréquences par les équipages de conduite jouent un rôle primordial dans la prévention des collisions. Il importe donc que les spécialistes de l'information de vol et que les pilotes possèdent un niveau de compréhension comparable des limites du principe «voir pour éviter».

### 2.3 *Manoeuvre d'évitement*

D'après les assiettes relatives des avions à l'impact, il semble que le pilote de l'avion d'Air Sandy ait aperçu le Metro de Bearskin qui approchait et qu'il ait commencé une manoeuvre d'évitement en amorçant un virage à gauche serré qui a atteint une inclinaison latérale de 45 à 60 degrés environ. À mesure que l'angle d'inclinaison augmentait, la section transversale de l'avion augmentait proportionnellement d'une valeur minimale de 13 pieds environ à une valeur finale comprise entre 28 et 34 pieds. L'inclinaison tentée en guise de manoeuvre d'évitement s'est traduite par l'augmentation involontaire de la surface transversale du Navajo et par l'augmentation du risque de collision avec le Metro qui venait en sens inverse.

Une manoeuvre dans le sens vertical, qui correspond à une manoeuvre demandée par un TCAS/ACAS, est normalement plus efficace dans des situations où une collision frontale est imminente. Toutefois, le programme d'entraînement en vue d'obtenir une licence de pilote civil au Canada ne comprend pas d'entraînement officiel sur la façon de reconnaître les facteurs géométriques de collision en vol et d'exécuter les meilleures manoeuvres d'évitement possible. Il est possible que le pilote qui n'a pas reçu l'entraînement approprié et qui aperçoit un aéronef assez tôt pour réagir soit tenté de tourner, ce qui augmente alors la surface transversale de l'aéronef et les risques de collision.

#### 2.4 *Communication d'avis par la FSS*

Il est peu probable que les avions accidentés affichaient la même fréquence au moment de la collision. Puisque la collision s'est produite à 12 nm environ de l'aéroport, à l'extérieur de la zone d'utilisation de la MF, il est probable que l'avion d'Air Sandy affichait la fréquence de 122,8 MHz et que le pilote n'a entendu aucune des communications radio entre la FSS et l'équipage de l'avion de Bearskin. L'avion de Bearskin volait en IFR et était contrôlé, et on avait demandé à l'équipage de passer de la fréquence de l'ACC de Winnipeg à la MF de Sioux Lookout. Par conséquent, il est peu probable que le pilote de l'avion d'Air Sandy ait entendu les communications effectuées par l'équipage de l'avion de Bearskin, et vice-versa. La seule fréquence commune aux deux avions aurait été la MF, mais lorsque la collision s'est produite, les deux avions étaient bien à l'extérieur de la zone de contrôle de 5 nm. Si les pilotes des avions avaient été au courant de la présence de l'autre appareil, ils auraient eu environ huit fois plus de chances de se voir. Compte tenu de cette probabilité, chaque équipage aurait peut-être eu l'occasion d'amorcer une manoeuvre d'évitement assez tôt pour éviter la collision.

Contrairement aux contrôleurs, les spécialistes FSS n'ont pas d'équipement radar. Le spécialiste de la FSS de Sioux Lookout disposait d'un équipement VDF qui lui permettait d'obtenir dans une certaine mesure l'affichage de données qui indiquent les risques de conflit, toutefois, le VDF ne fournit pas de renseignements sur la distance. Il devait compter sur les comptes rendus verbaux des équipages et, à l'aide d'un tableau de tracés de navigation, sur sa propre capacité à garder une image mentale des aéronefs volant dans la zone pour visualiser les risques de conflit. Il ne disposait pas d'équipement supplémentaire qui aurait pu l'aider à déceler la présence de l'avion de Bearskin et le conflit entre cet avion et l'avion d'Air Sandy.

#### 2.5 *Zone de contrôle*

L'utilisation de la MF n'est obligatoire que dans la zone de contrôle. La limite de la zone de contrôle à Sioux Lookout est à 5 nm de l'aéroport. Les avions multimoteurs à hautes performances qui empruntent l'aéroport peuvent avoir des vitesses de rapprochement de 400 noeuds (un en partance, un à l'arrivée), ce qui équivaut à plus de 6 nm par minute. Si le rayon de la zone de contrôle est de 5 nm, il est probable que ces avions disposeront de moins d'une minute avant que leurs trajectoires ne se croisent à l'intérieur de la zone de contrôle. À une telle vitesse, le spécialiste FSS a peu de temps pour transmettre l'information sur le trafic, particulièrement s'il est occupé à d'autres tâches, comme communiquer avec d'autres pilotes ou parler avec l'ACC au téléphone. Si la zone d'utilisation de la MF

était plus grande, ou si les aéronefs se rapprochaient et partaient à des vitesses inférieures, le temps pour mettre les pilotes au courant de la présence d'autres aéronefs serait plus long.

## 2.6 *Précision latérale du GPS*

Bien que tout indique que les pilotes des deux avions naviguaient à l'aide du GPS, cela n'a pas pu être établi avec certitude. Toutefois, l'utilisation du GPS permet de naviguer avec une grande précision. La navigation avec une précision de  $\pm 300$  pieds latéralement ne laisse pas beaucoup d'espace lorsque des aéronefs convergent à des vitesses élevées et qu'ils montent ou descendent. Transports Canada a reconnu ce problème et a publié des dépliants qui traitent de cette question. Les dépliants proposent aux pilotes d'utiliser des trajectoires de navigation décalées latéralement. Toutefois, il n'existe pas de procédures établies pour s'assurer que tous les pilotes qui naviguent à l'aide du GPS utilisent l'espacement latéral. Si un avion vole sur une trajectoire décalée et que l'autre ne le fait pas, les risques de collision seront moins grands, mais pas autant que si les deux avions volaient sur des trajectoires décalées.

## 2.7 *Utilisation du TCAS/ACAS et du transpondeur*

L'équipement TCAS/ACAS moderne dépend du fonctionnement du transpondeur. Aucun des avions accidentés n'était équipé d'un TCAS/ACAS; toutefois, si l'un des avions avait été équipé d'un TCAS/ACAS et que les deux avaient été équipés de transpondeurs en marche, la collision n'aurait probablement pas eu lieu. Si les avions avaient été équipés d'un TCAS/ACAS en état de marche, ce dernier aurait fourni des avertissements et des points de repère constants aux pilotes sur la distance par rapport à l'autre avion. Grâce à ces avertissements, les pilotes auraient probablement eu le temps de prendre des mesures d'évitement.

## 3.0 Conclusions

### 3.1 Faits établis

1. Les deux avions sont entrés en collision à 4 500 pieds-mer, à 12 nm environ au nord-ouest de Sioux Lookout.
2. Les profils de vol des avions, basés sur les données du CVR et du FDR du Metro 23 de Bearskin, indiquent que les avions ne présentaient probablement aucun problème mécanique ni aucun problème relatif au circuit de commandes de vol avant la collision.
3. Aucun des avions n'était équipé d'un TCAS/ACAS, ce qui n'était pas contraire à la réglementation.
4. Aux États-Unis, il est obligatoire que tous les avions comprenant 10 sièges de passagers ou plus soient équipés d'un TCAS/ACAS. Au Canada, il n'est pas obligatoire que les avions soient équipés d'un TCAS/ACAS.
5. Le spécialiste FSS n'a pas prévenu directement le pilote du vol 3101 d'Air Sandy que le vol 362 de Bearskin en provenance de Red Lake se rapprochait; toutefois, il a prévenu deux autres équipages sur la MF que l'avion du vol 362 de Bearskin se rapprochait, et pendant ce temps le pilote du vol 3101 d'Air Sandy était à l'écoute de cette fréquence.
6. Le spécialiste FSS devait compter sur les comptes rendus verbaux des équipages, sur l'équipement VDF et sur sa propre capacité à garder une image mentale des aéronefs volant dans la zone pour visualiser les possibilités de conflit. Il n'avait pas d'équipement supplémentaire qui aurait pu l'aider à détecter la présence de l'avion de Bearskin et le conflit entre cet avion et l'avion d'Air Sandy.
7. Il n'y avait pas de communication directe, ni de TCAS/ACAS, ni de données radar pour prévenir les pilotes de la présence de l'autre appareil. Les pilotes à qui on a signalé la présence d'un autre appareil ont huit fois plus de chances de voir l'appareil que les pilotes à qui on n'a pas donné ce renseignement.
8. À cause de la plus grande précision de la navigation effectuée à l'aide d'un GPS, la probabilité d'une collision entre des aéronefs qui utilisent le GPS sur des routes aériennes établies est beaucoup plus élevée que dans le cas des aéronefs qui utilisent des aides à la navigation conventionnelles.
9. Diverses procédures ont été établies pour les vols IFR et VFR afin de diminuer les risques de collision en vol; toutefois, les procédures établies n'ont pas été modifiées depuis la mise en service du GPS.
10. Aucun des pilotes n'a vu l'autre avion à temps pour éviter la collision.
11. Les limites physiologiques de l'oeil et du système de réponse motrice de l'être humain réduisent l'efficacité du principe «voir pour éviter» lorsque la vitesse de rapprochement relative de deux aéronefs augmente.

12. Le programme d'entraînement en vue d'obtenir une licence de pilote civil au Canada ne comprend pas d'entraînement officiel sur la façon de reconnaître les facteurs géométriques de collision en vol et d'exécuter les meilleures manoeuvres d'évitement possible.
13. De nombreux pilotes qui volent dans le nord-ouest de l'Ontario utilisent la fréquence de 122,8 MHz pour les communications en route au lieu de la fréquence de 126,7 MHz. Par conséquent, les pilotes qui utilisent la fréquence de 122,8 MHz ne reçoivent pas les renseignements sur le trafic fournis par les pilotes qui utilisent la fréquence de 126,7 MHz ou la MF.

### 3.2 *Causes*

Aucun des pilotes n'a vu l'autre avion à temps pour éviter la collision. Les facteurs suivants ont contribué à l'accident : les limites du principe «voir pour éviter» qui ne permettent pas d'espacement efficace entre des avions qui ont des vitesses de rapprochement élevées, le fait qu'aucun des pilotes n'a été prévenu directement de la présence de l'autre avion par le spécialiste de l'information de vol ou par de l'équipement électronique de bord, et le manque apparent de compréhension de la part des pilotes des meilleures manoeuvres d'évitement possible.

## 4.0 *Mesures de sécurité*

### 4.1 *Mesures prises*

#### 4.1.1 *Mesures prises par l'exploitant*

Après l'accident, Bearskin Airlines a élaboré des procédures destinées à réduire les risques de collision en vol dans la région de Sioux Lookout qui est une zone très fréquentée. En vertu de ces procédures, tous les appareils de Bearskin doivent avoir une vitesse inférieure à 150 noeuds quand ils se trouvent dans un rayon de 5 nm autour de l'aéroport de Sioux Lookout. Cette diminution de vitesse devrait permettre de réduire les risques de collision en vol en augmentant à la fois les chances de détecter les appareils qui constituent un conflit et le temps disponible pour prendre des mesures d'évitement après avoir détecté le conflit.

#### 4.1.2 *Mesures prises par Transports Canada*

Transports Canada a pris des mesures pour conscientiser davantage les pilotes aux procédures susceptibles de réduire les risques de collision en vol. Un avis aux navigants intitulé «Bulletin d'avertissement sur les collisions aériennes» a été publié en juillet 1995. Cet avis prévient les pilotes des risques accrus de collision en cas d'utilisation du GPS et insiste sur les bénéfices qu'il y a à utiliser les comptes rendus d'arrivée, les avis de départ et les comptes rendus de position afin de rester vigilant pour pouvoir détecter les appareils qui pourraient constituer un conflit. Cet avis comprend également une version améliorée des Lignes directrices sur l'évitement des collisions.

Deux affiches ont été conçues : la première, intitulée «Exigences des communications MF/ATF», reprend les exigences en matière de communication et de compte rendu que doivent respecter les pilotes; la seconde, intitulée «Espacement des aéronefs en cas d'utilisation du GPS», suggère de voler à un ou deux milles à droite de l'axe de la trajectoire en cas de navigation au GPS de façon à éviter tout risque de conflit avec un appareil venant en sens inverse.

Transports Canada a en outre publié, dans le numéro 2/96 du bulletin *Sécurité aérienne - Nouvelles*, quatre articles sur la façon d'éviter les collisions.

La Région du Centre de Transports Canada a également formé un groupe de travail sur les fréquences obligatoires (MF). En juillet 1995, ce groupe a demandé au milieu de l'aviation ce qu'il pensait de la qualité des procédures relatives aux zones MF. Diverses solutions pour

régler les problèmes reliés aux zones MF, tant au niveau des procédures que de la structure, font l'objet d'une évaluation à la lumière des réponses reçues.

#### 4.1.3 Procédures applicables aux zones d'utilisation de la MF

Le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), qui devrait entrer en vigueur en 1996, modifie les procédures de compte rendu applicables aux aéronefs approchant d'une zone MF. Le commandant de bord d'un aéronef en VFR sera maintenant tenu, lorsque les circonstances le permettent, d'appeler au moins cinq minutes avant de pénétrer dans la zone MF. Grâce à cette modification, les aéronefs au départ et à l'arrivée seront mieux avertis de la présence d'aéronefs présentant des risques de conflit; de plus, le rayon de la zone MF se trouvera de fait agrandi proportionnellement à la vitesse de l'aéronef. Compte tenu du rayon de la zone MF et de la vitesse sol du Metro, l'équipage de cet avion aurait été tenu de contacter la FSS de Sioux Lookout à au moins 25 nm de l'aéroport, si ces procédures avaient été en vigueur.

#### 4.1.4 Sensibilisation au trafic dans les FSS

Les spécialistes FSS sont chargés de fournir des renseignements consultatifs d'aéroport aux aéronefs évoluant à partir ou en direction d'un endroit situé à l'intérieur de la zone MF. Une liste de tous les aéronefs connus susceptibles de nuire à la sécurité d'un appareil doit être fournie et doit être mise à jour si le spécialiste se rend compte de conflits éventuels. Les pilotes se servent des renseignements sur le trafic (avis de circulation) pour mieux voir et éviter les aéronefs présentant des risques de conflit. Toutefois, les spécialistes FSS disposent de ressources limitées pour fournir ces renseignements.

De mauvais comptes rendus de position des aéronefs, des erreurs dans les communications ainsi que l'encombrement des fréquences sont des éléments qui peuvent nuire à la qualité des avis de circulation. D'autres imprécisions peuvent s'ajouter lorsque les spécialistes se fient principalement aux renseignements reçus par radio pour déterminer la position et les intentions des aéronefs dans leur zone et qu'ils essaient de déceler les conflits potentiels en projetant dans le futur l'image mentale qu'ils se font du trafic actuel. À mesure que le volume du trafic et que la vitesse des aéronefs augmentent, les spécialistes FSS ont de plus en plus de mal à assimiler les renseignements disponibles et à fournir des avis de circulation judicieux et au moment voulu, ce qui augmente d'autant les risques de collision.

Le Bureau sait qu'il existe maintenant de l'équipement relativement peu coûteux qui peut donner une représentation visuelle du trafic. Utilisé par des spécialistes, cet équipement pourrait réduire les risques d'erreurs cognitives, diminuer l'encombrement des fréquences et faciliter la surveillance à distance. Étant donné que l'utilisation de cet équipement pourrait peut-être permettre de diminuer les risques de collision, le BST a envoyé un avis de sécurité à Transports Canada pour lui suggérer d'évaluer si l'utilisation de l'équipement donnant une représentation visuelle de la position des aéronefs (par exemple des TCAS/ACAS utilisés au sol ou des ordinateurs personnels affichant des données radar transmises par ligne terrestre) pourrait aider les spécialistes FSS à détecter les conflits potentiels et leur permettre d'offrir des avis de circulation précis et au moment voulu.

Le spécialiste de la FSS de Sioux Lookout a eu beau avertir deux aéronefs sur la MF de l'arrivée du vol 362 de Bearskin à un moment où l'avion du vol 3101 d'Air Sandy était sur cette même fréquence, mais on ne sait pas si le pilote d'Air Sandy a entendu l'avis de circulation concernant l'avion de Bearskin. Le BST ne sait pas jusqu'à quel point les spécialistes FSS s'assurent que les pilotes sont bien conscients de la présence d'appareils en conflit, et il a suggéré dans un avis de sécurité que Transports Canada insiste davantage sur ce point au cours des examens d'assurance de la qualité.

## 4.2 Mesures à prendre



#### 4.2.1 Procédures d'espacement dans le cas d'aéronefs navigant au GPS

Le GPS a été homologué pour être utilisé en régime VFR et également comme moyen de navigation de secours en régime IFR. Il sera homologué comme système primaire de navigation en régime IFR dans très peu de temps. Le Système de la navigation aérienne du Canada utilise de plus en plus le GPS vu qu'il s'agit d'un système de navigation précis et peu coûteux.

En 1995, le Bureau a fait deux recommandations à Transports Canada visant à réduire les risques d'événements liés au GPS attribuables à l'utilisation d'un équipement non approuvé, à une mauvaise compréhension du système ou à l'absence d'une approche approuvée. Transports Canada a répondu qu'il était d'accord avec les recommandations et nous a décrit plusieurs initiatives qui ont été prises pour accélérer la mise en oeuvre des normes GPS et pour attirer l'attention de la communauté aéronautique sur les limites opérationnelles et l'utilisation en toute sécurité du GPS.

S'il est bien utilisé, le GPS réduit l'écart latéral de l'aéronef par rapport à l'axe de la trajectoire souhaitée; par conséquent, si les procédures d'espacement ne sont pas respectées, les probabilités de collision en vol risquent d'augmenter (cf. rapport technique LP 95/95). Cette augmentation des risques de collision touche les aéronefs en IFR et en VFR dans tous les types d'exploitation.

Pour diminuer les risques de collision, les pilotes d'aéronefs utilisant le GPS peuvent faire appel aux fonctions de navigation de surface (RNAV) du GPS, ce qui leur permet d'éviter les routes très fréquentées en volant à une distance décalée de l'axe de ces routes ou de créer leurs propres routes. Bien que Transports Canada ait pris certaines mesures pour régler ce

problème (voir la rubrique 4.1.2), celles-ci ont une portée limitée et ne sont que des mesures à court terme. Compte tenu de l'utilisation croissante du GPS et des risques accrus de collisions en vol inhérents à son utilisation, le BST recommande que :

le ministère des Transports voie rapidement à l'élaboration et à la mise en oeuvre de procédures d'espacement sûres pour les aéronefs navigant à l'aide du GPS.

A96-04

#### 4.2.2 Évitement des collisions

Les procédures d'espacement des aéronefs ne sont pas toujours respectées (comme en témoignent les cas de perte d'espacement en IFR) et ne sont pas toujours efficaces (par exemple pendant une montée ou une descente en VFR). Depuis 1991, il y a eu huit collisions en vol au Canada et 142 pertes d'espacement signalées au cours desquelles la sécurité a été compromise. Lorsque les procédures d'espacement des aéronefs sont défaillantes, les pilotes doivent s'en remettre à la méthode du «voir pour éviter» s'ils ne veulent pas être victimes d'une collision en vol. Toutefois, cette méthode perd de son efficacité à mesure que la vitesse des aéronefs augmente.

Dans le présent accident, on a estimé que la vitesse de rapprochement des avions était de 410 noeuds. À cette vitesse, la probabilité que les pilotes d'un des avions voient l'autre appareil assez tôt pour prendre des mesures d'évitement n'était que de 20 % environ (cf. rapports techniques LP 086/95 et LP 001/96). Cette probabilité aurait été deux fois plus grande si la vitesse de rapprochement n'avait été que de 300 noeuds. Compte tenu des probabilités plus grandes d'établir le contact visuel avec des aéronefs qui évoluent à des vitesses réduites, le BST recommande que :

le ministère des Transports s'assure que les aéronefs évoluent à des vitesses réduites, mais sûres, aux abords des aérodromes où l'espacement repose principalement sur le principe «voir pour éviter».

A96-05

Même si les aéronefs évoluent à des vitesses réduites, les pilotes doivent être en mesure de reconnaître les dangers et de prendre les mesures d'évitement qui s'imposent. Le *Guide de l'instructeur de vol* de Transports Canada préconise le virage accentué comme mesure d'évitement; toutefois, cette manoeuvre risque d'augmenter la probabilité d'impact si elle est entreprise lorsque les appareils se trouvent à une dizaine de secondes ou moins de l'impact<sup>10</sup> (les éléments de preuve révèlent que le Navajo avait une forte inclinaison latérale au moment de la collision).

Comme une mauvaise réaction à une situation présentant un risque de collision est susceptible d'augmenter les probabilités de collision en vol, le BST recommande que :

le ministère des Transports prenne des mesures à court et à long terme pour permettre aux pilotes d'améliorer leur habileté à reconnaître les facteurs géométriques de collision en vol et pour leur permettre d'être en mesure d'exécuter les meilleures manoeuvres d'évitement possible.

A96-06

#### 4.2.3 TCAS/ACAS

La méthode d'espacement des aéronefs faisant appel au principe «voir pour éviter» peut s'avérer beaucoup plus efficace si les pilotes sont prévenus de la présence et de la position relative d'aéronefs présentant un risque de conflit. Le TCAS/ACAS I donne (sous forme de TA) de tels avertissements lorsque d'autres aéronefs se trouvent à proximité.

Aux États-Unis, les Federal Aviation Regulations auraient exigé que le Metro soit équipé d'un TCAS/ACAS; de plus, de nombreux pays ont rendu le TCAS/ACAS obligatoire; toutefois, aucune exigence de la sorte n'existe ni n'est envisagée au Canada.

Compte tenu des possibilités reconnues du TCAS/ACAS et des risques accrus de collision inhérents à la meilleure précision des moyens de navigation, à l'augmentation de la vitesse des aéronefs, et du mélange d'appareils en VFR et en IFR à des aéroports non contrôlés comme celui de Sioux Lookout, le Bureau recommande que :

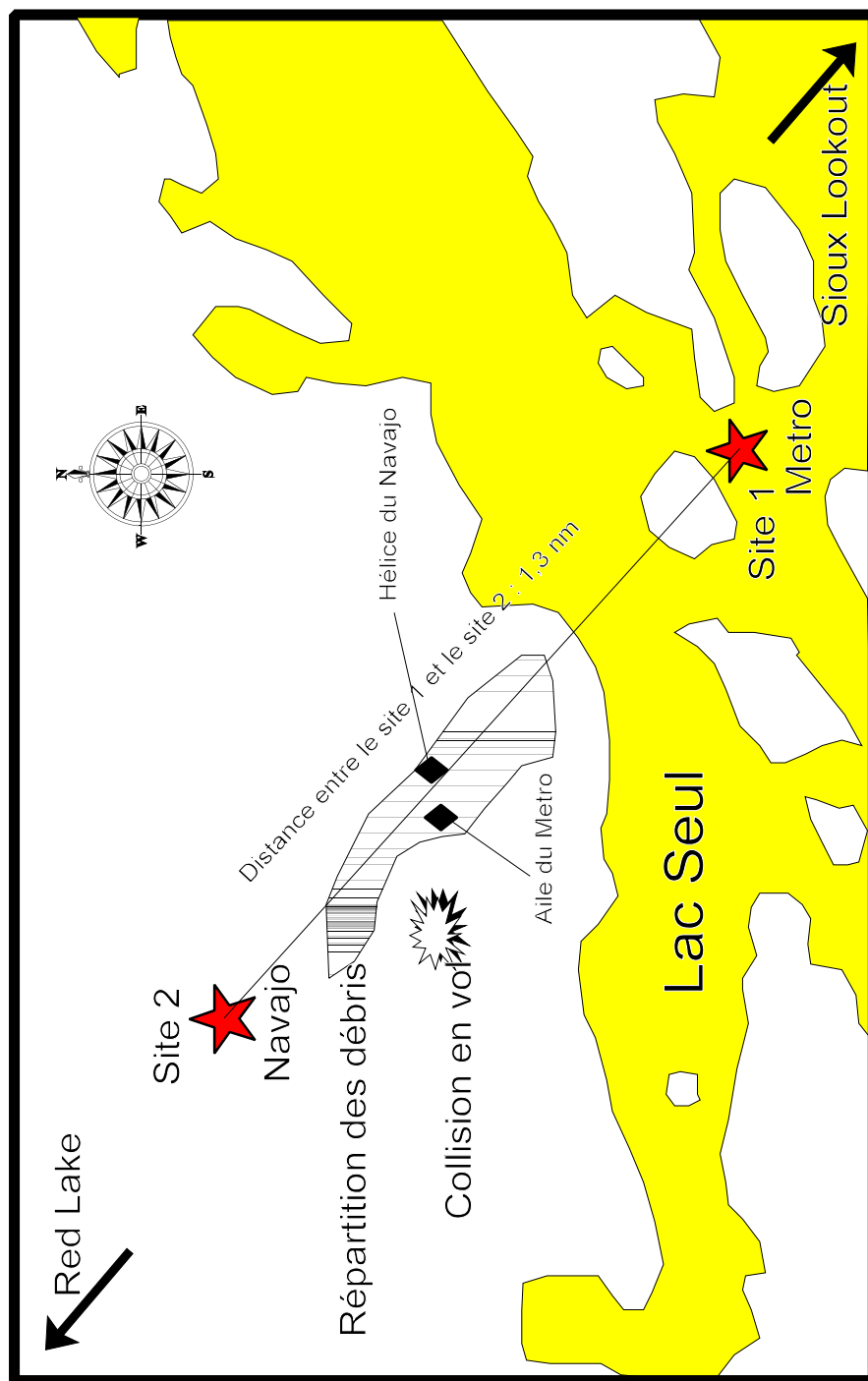
le ministère des Transports effectue une analyse comparative des avantages qu'il y aurait à exiger la présence d'un TCAS/ACAS à bord des aéronefs commerciaux transportant des passagers, par rapport aux risques que posent les aéronefs évoluant sans TCAS/ACAS.

A96-07

*Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet accident. La publication de ce rapport a été autorisée le 4 avril 1996 par le Bureau qui est composé du Président John W. Stants et des membres Zita Brunet et Maurice Harquail.*

<sup>10</sup> J.L. Harris, Sr., "Avoid", *The Unanalyzed Partner of "See"*, ISASI Forum n° 2, 1983, p. 16.



*Annexe A - Répartition des débris*



## *Annexe B - Liste des rapports pertinents*

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

LP 71/95 - *Preservation of Documents* (Préservation des documents);

LP 72/95 - *Underwater Acoustic Beacons Analyses* (Analyses des balises acoustiques sous-marines);

LP 73/95 - *Instruments Examination* (Examen des instruments);

LP 74/95 - *Structures Examination* (Examen des structures);

LP 75/95 - *Site Survey* (Visite des lieux);

LP 86/95 - *Visibility Study* (Étude de la visibilité);

LP 95/95 - *Probability of Mid-Air Collision, Effects of Navigation System, GPS vs VOR and NDB/ADF* (Probabilité de collision en vol, effets du système de navigation : GPS par rapport au VOR et au NDB/ADF).

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



## *Annexe C - Sigles et abréviations*

ACC	centre de contrôle régional
ATS	Services de la circulation aérienne
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CVR	enregistreur phonique
DG	gyro directionnel
DME	équipement de mesure de distance
ELT	radiobalise de détresse
FAA	Federal Aviation Administration
FSS	station d'information de vol
GPS	système de positionnement mondial
h	heure(s)
HAC	heure avancée du Centre
HSI	indicateur de situation horizontale
IFR	règles de vol aux instruments
ISASI	International Society of Air Safety Investigators/ Association internationale des enquêteurs de la sécurité aérienne
lb	livre(s)
MF	fréquence obligatoire (122,0 MHz)
MHz	mégahertz
MIT	Massachusetts's Institute of Technology
NDB	radiophare non directionnel
nm	mille(s) marin(s)
RA	avis de résolution
RAC	<i>Règlement de l'aviation canadien</i>
RNAV	navigation de surface
SAR	Recherches et sauvetage
TA	avis de circulation
TCAS/ACAS	Système d'avertissement de trafic et d'évitement d'abordages
UTC	temps universel coordonné
VDF	équipement radiogoniométrique
VFR	règles de vol à vue
VHF	très haute fréquence
VMC	conditions météorologiques de vol à vue
Z	temps universel coordonné



## BUREAUX DU BST

### ADMINISTRATION CENTRALE

#### HULL (QUÉBEC)\*

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

#### INGÉNIERIE

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

### BUREAUX RÉGIONAUX

#### LE GRAND HALIFAX (NOUVELLE-ÉCOSSE)\*

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

#### MONCTON (NOUVEAU-BRUNSWICK)

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

#### LE GRAND MONTRÉAL (QUÉBEC)\*

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

#### LE GRAND QUÉBEC (QUÉBEC)\*

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

#### LE GRAND TORONTO (ONTARIO)

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

#### PETROLIA (ONTARIO)

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

#### WINNIPEG (MANITOBA)

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

#### EDMONTON (ALBERTA)

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

#### CALGARY (ALBERTA)

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

#### LE GRAND VANCOUVER (COLOMBIE-BRITANNIQUE)

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

\*Services disponibles dans les deux langues officielles

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