

*Survol du*  
**Programme conjoint de recherche sur la glissance  
des chaussées aéronautiques l'hiver**

*Juillet 1999*

*préparé par le*  
**Centre de développement des transports**

*pour la*  
Direction générale de l'aviation civile  
*et*  
les autres participants au  
Programme conjoint de recherche sur la glissance  
des chaussées aéronautiques l'hiver

---

L'information contenue dans ce rapport est une synthèse des travaux de plusieurs organismes.

This report is also available in English under the title *Overview of the Joint Winter Runway Friction Measurement Program*, TP 13361E.



1. N° de la publication de Transports Canada <b>TP 13361F</b>		2. N° de l'étude <b>8258</b>		3. N° de catalogue du destinataire		
4. Titre et sous-titre <b>Survol du Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver</b>				5. Date de la publication <b>Juillet 1999</b>		
				6. N° de document de l'organisme exécutant		
7. Auteur(s) <b>L. Andrassy</b>				8. N° de dossier - Transports Canada <b>2450-B-14</b>		
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant <b>Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest Bureau 600 Montréal (Québec) H3B 1X9</b>				10. N° de dossier - TPSGC		
				11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada		
12. Nom et adresse de l'organisme parrain <b>Direction générale de la sécurité des aéroports, Transports Canada Tour C, Place de Ville, 18<sup>e</sup> étage 330, rue Sparks Ottawa, Ontario K1A 0N8</b>				13. Genre de publication et période visée		
				14. Agent de projet <b>A. Boccanfuso</b>		
15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.) <b>Également disponible en anglais sous le titre <i>Overview of the Joint winter runway friction measurement program</i>, TP 13361E.</b>						
16. Résumé  <b>Ce rapport fait la synthèse des activités menées dans le cadre du Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver, depuis le lancement du programme jusqu'aux essais de la saison hivernale 1999. Il traite tour à tour des sujets suivants : gestion du programme, essais, réunions, élaboration de l'indice international de la glissance des pistes, réalisations, objectifs futurs.</b>						
17. Mots clés <b>Opérations hivernales, glissance des chaussées aéronautiques, freinage des aéronefs, normes relatives au compte rendu de la glissance des pistes, classification des contaminants, harmonisation des appareils de mesure au sol, IRFI, CRFI</b>				18. Diffusion <b>Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.</b>		
19. Classification de sécurité (de cette publication) <b>Non classifiée</b>		20. Classification de sécurité (de cette page) <b>Non classifiée</b>		21. Déclassification (date) <b>—</b>	22. Nombre de pages <b>x, 26</b>	23. Prix <b>Port et manutention</b>



1. Transport Canada Publication No. <b>TP 13361F</b>		2. Project No. <b>8258</b>		3. Recipient's Catalogue No.	
4. Title and Subtitle <b>Survol du Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver</b>				5. Publication Date <b>July 1999</b>	
				6. Performing Organization Document No.	
7. Author(s) <b>L. Andrassy</b>				8. Transport Canada File No. <b>2450-B-14</b>	
9. Performing Organization Name and Address <b>Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West Suite 600 Montreal, Quebec H3B 1X9</b>				10. PWGSC File No.	
				11. PWGSC or Transport Canada Contract No.	
12. Sponsoring Agency Name and Address <b>Transport Canada, Aerodrome Safety Branch Tower C, Place de Ville, 18<sup>th</sup> Floor 330 Sparks Street Ottawa, Ontario K1A 0N8</b>				13. Type of Publication and Period Covered	
				14. Project Officer <b>A. Boccanfuso</b>	
15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.) <b>Also available in English under the title <i>Overview of the Joint winter runway friction measurement program</i>, TP 13361E.</b>					
16. Abstract  <b>This report outlines the activities of the Joint Winter Runway Friction Measurement Program from its inception to the beginning of the 1999 tests. It covers program management, tests, meetings, development of the International Runway Friction Index, achievements, and future goals.</b>					
17. Key Words <b>Winter aviation operations, runway friction, aircraft braking, runway reporting standards, contaminant classification, ground vehicle harmonization, IRFI, CRFI</b>				18. Distribution Statement <b>Limited number of copies available from the Transportation Development Centre</b>	
19. Security Classification (of this publication) <b>Unclassified</b>		20. Security Classification (of this page) <b>Unclassified</b>		21. Declassification (date) <b>—</b>	22. No. of Pages <b>x, 26</b>
				23. Price <b>Shipping/ Handling</b>	

---

## SOMMAIRE

Depuis des siècles, l'homme cherche à comprendre et à quantifier les effets du frottement, c'est-à-dire du contact de deux corps dont l'un au moins se déplace par rapport à l'autre. L'essor de l'aviation a suscité une foule de questions nouvelles. Ainsi, en hiver surtout, la sûreté des opérations aériennes dépend de la compréhension des facteurs qui influent sur l'adhérence pneu-chaussée. Les milieux de l'aviation n'ont d'ailleurs pas tardé à étudier ce problème. Des pistes rendues glissantes par l'eau et la glace constituent la première cause des accidents d'avions à l'atterrissage.

L'écrasement d'un avion à Dryden, Ontario, en 1989, a accentué l'importance du problème. Le rapport de la Commission Dryden, chargée de l'enquête sur cet accident, formule de nombreuses recommandations, dont la nécessité d'«accélérer les recherches sur des moyens techniques précis capables de définir l'état de surface des pistes et les effets de cet état sur les performances des avions.»

Dans la plupart des pays, des lignes directrices régissent les opérations aériennes en hiver, mais il n'existe pas encore de règle ou de pratique universelle dans ce domaine. Le Canada a utilisé l'indice de freinage James (JBI, pour *James Braking Index*) jusqu'en 1998, année où celui-ci a été revu et rebaptisé Indice canadien de la glissance des pistes (CRFI, pour *Canadian Runway Friction Index*). Un des problèmes fondamentaux, sur le plan technique, consiste à établir une relation entre la performance en freinage des aéronefs et les données de frottement enregistrées par des véhicules au sol spécialement adaptés.

C'est pour examiner ces questions que Transports Canada (TC) et la U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) concluaient, en décembre 1995, un protocole d'entente visant le lancement d'un programme quinquennal de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver. Des organismes nord-américains et européens (l'Administration norvégienne de l'aviation civile, par exemple, a également signé un accord conjoint) ayant manifesté leur appui, un programme international – le Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver (PCRGCAH) – était mis sur pied en janvier 1996.

### Organismes participants

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et la U.S. Federal Aviation Administration (FAA) ont immédiatement appuyé le programme lancé par TC et la NASA. L'Administration norvégienne de l'aviation civile et le Service technique des bases aériennes ainsi que la Direction générale de l'aviation civile de France ont également offert leur soutien. D'autres organismes, comme l'Organisation de l'aviation civile internationale, la Joint Aviation Authority (l'équivalent européen de la FAA) et le

ministère de la Défense nationale du Canada, de même que des transporteurs aériens et des constructeurs aéronautiques du Canada, des États-Unis, du Royaume-Uni, de France et de Norvège, ont offert diverses formes d'aide : soutien financier, bases de données colligées par leurs propres programmes, compétence technique, matériel, produits, personnel, installations.

L'American Society for Testing and Materials (ASTM) s'est montrée disposée à collaborer avec l'industrie et les milieux aéronautiques pour établir des normes concernant un indice de rapport commun, ou «harmonisateur» des appareils de mesure du frottement, fondé sur les résultats du programme et les commentaires des participants au programme. L'ASTM a mis sur pied un groupe de travail réunissant des représentants de divers pays, afin de définir les concepts à la base de cet indice, connu sous le nom de Indice international de la glissance des pistes ou IRFI (pour *International Runway Friction Index*).

Le Centre de développement des transports, l'organe de recherche de TC, coordonne l'ensemble du programme, appuyé et guidé par le Comité de direction du PCRGCAH.

## **Programme**

Pour atteindre les objectifs assignés au programme, l'équipe TC/NASA a prévu une démarche en cinq phases : acquisition de données à l'aide d'appareils de mesure spécialement adaptés; acquisition de données par des essais mettant en jeu des avions instrumentés; analyse, corrélation et interprétation des données; application des connaissances acquises à l'élaboration d'un IRFI; validation de la méthode d'élaboration de l'IRFI. Le programme prévoyait également des réunions devant permettre la diffusion d'information et des discussions concernant l'élaboration de l'IRFI.

Des programmes d'essais ont eu lieu chaque année depuis le lancement du programme, soit en 1996, 1997, 1998 et 1999. La campagne d'essais de 1999 n'est pas encore terminée. Les essais à l'aide d'avions instrumentés comportent l'exécution de trois manoeuvres critiques – décollage, atterrissage et décollage interrompu (accélération-arrêt) – sur diverses surfaces. Les paramètres mesurés sont le coefficient de freinage, l'accroissement de la traînée et la vitesse de l'avion. Des véhicules au sol prennent des mesures du frottement avant et après chaque circuit d'avion, et les valeurs mesurées par les avions et les véhicules au sol sont comparées. Les mesures découlant des essais d'aéronefs servent à établir un modèle théorique de la relation entre le coefficient de frottement et la distance d'arrêt et à mettre au point des tables de calcul précises. En tout, plus de 13 véhicules au sol et cinq types d'avions spécialement instrumentés – un Falcon 20, un Dash 8, un B-757, un B-737, et un B-727 – ont participé au programme.

L'aéroport Jack Garland, à North Bay, en Ontario, constitue le site d'essai principal. C'est là qu'ont eu lieu les premiers essais, en janvier 1996. Le Centre de vols spatiaux

des îles Wallops de la NASA, en Virginie, la base aérienne Gwinn-Sawyer, au Michigan, et la piste d'essai Ottar K. Kollerud, à l'aéroport d'Oslo, en Norvège, servent également à des essais.

Après chaque campagne d'essais, les données acquises sont analysées, interprétées et utilisées à des fins de corrélation et de validation.

### **Élaboration de l'IRFI**

Dans un premier temps, le groupe de travail de l'ASTM a convenu d'un concept pour le calcul d'un IRFI et a déterminé les besoins en matière de données reliés à un tel indice. Au fur et à mesure des travaux du groupe, les essais étaient modifiés pour tenir compte des problèmes rencontrés et pour valider les types de données obtenues.

Après avoir colligé et analysé la masse de données recueillies, le groupe a mis au point un prototype d'outil de calcul fondé sur la corrélation des valeurs de frottement maximales enregistrées par un appareil de mesure avec celles d'un appareil de référence. En janvier 1998, les travaux en vue du développement d'un appareil de référence étaient entrepris. Un véhicule virtuel, conjuguant des éléments de plusieurs appareils présentement utilisés, a été proposé.

Un projet d'IRFI a alors été soumis à l'ASTM en vue d'un examen préliminaire. Cet examen a suscité un certain nombre de questions, auxquelles le programme d'essais de 1999 devrait répondre. Un nouveau projet d'IRFI sera ensuite élaboré, qui prendra en compte les résultats de ces essais, après quoi se poursuivront les démarches en vue de l'acceptation de l'indice.

### **Réalisations**

Voici les principales réalisations du PCRGCAH :

- Constitution de la première base de données substantielle sur la glissance des chaussées aéronautiques, à des températures égales et inférieures à 0 °C.
- Révision de l'indice de freinage James. La version révisée élaborée dans le cadre du programme, soit l'indice canadien de la glissance des pistes, donne aux pilotes des indications plus précises pour calculer les distances d'atterrissage sur des pistes chargées de contaminants.
- Meilleure compréhension des nombreux facteurs influant sur les coefficients de frottement, comme, par exemple, la traînée due à la neige fondante et la traînée due au choc des projections.

- Coopération internationale pour l'élaboration d'un IRFI fondé sur les données les plus complètes et les plus précises possibles, auquel voudront adhérer toutes les parties intéressées.

### **Objectifs futurs**

L'objectif immédiat du programme est d'élaborer et de valider l'IRFI et de le faire accepter par les milieux officiels. Tous les autres objectifs convergent vers une meilleure précision et une plus grande portée de l'IRFI, ce qui devrait en favoriser l'acceptation.

Une fois que l'IRFI aura été officiellement accepté, il importera de veiller à ce qu'il soit entériné et utilisé par les organismes de réglementation, les autorités aéroportuaires, les lignes aériennes et les pilotes.

---

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
1.1	Contexte .....	1
1.2	Objectifs .....	3
1.3	Organismes participants .....	3
1.4	Gestion du programme .....	4
<b>2.</b>	<b>PROGRAMME</b> .....	<b>7</b>
2.1	Programme d'essais de 1996 .....	8
2.2	Réunion internationale de 1996 .....	11
2.3	Programme d'essais de 1997 .....	11
2.4	Atelier 1997 de la NASA .....	12
2.5	Réunion 1997 du Comité de direction .....	13
2.6	Programme d'essais de 1998 .....	13
2.7	Essais de Norvège, 1998 .....	14
2.8	Atelier de la NASA 1998 .....	14
2.9	Programme d'essais de 1999 .....	16
<b>3.</b>	<b>ÉLABORATION DE L'IRFI</b> .....	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b>RÉALISATIONS</b> .....	<b>21</b>
<b>5.</b>	<b>OBJECTIFS FUTURS</b> .....	<b>23</b>
	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>25</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Accidents à l'atterrissage selon le descripteur d'événement .....	1
Figure 2	Cadre organisationnel global .....	6
Figure 3	Structure canadienne de gestion du PCRGCAH .....	6
Figure 4	Disposition des pistes de l'aéroport de North Bay .....	8
Figure 5	Calendrier du Programme de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver .....	9
Figure 6	Tracé de la piste d'essai et d'étalonnage Ottar K. Kollerud .....	15



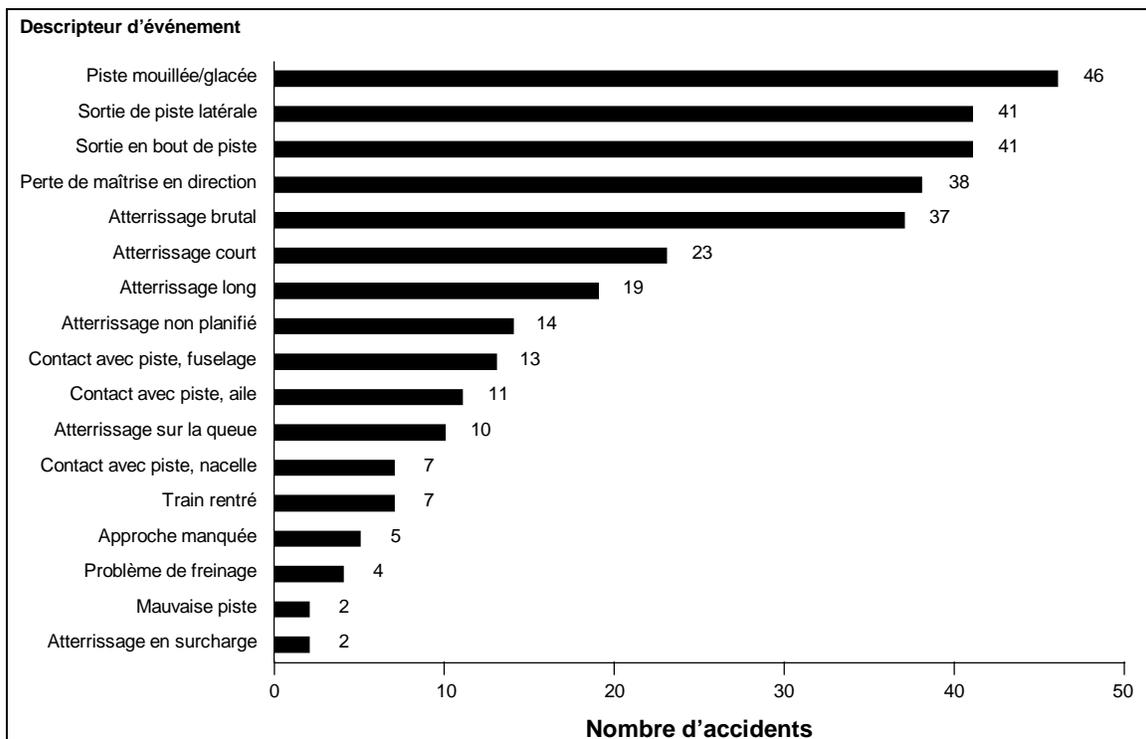
# 1. INTRODUCTION

*... parmi tous ceux qui ont écrit sur le sujet des forces des corps en mouvement, probablement personne ne s'est suffisamment soucié du frottement ...*

*Guillaume Amontons, 1699 (1)*

## 1.1 Contexte

Depuis des siècles, l'homme cherche à comprendre et à quantifier les effets du frottement, c'est-à-dire du contact de deux corps dont l'un au moins se déplace par rapport à l'autre. L'essor de l'aviation a suscité une foule de questions nouvelles. Ainsi, en hiver surtout, la sûreté des opérations aériennes dépend de la compréhension des facteurs qui influent sur l'adhérence pneu-chaussée. Les milieux de l'aviation n'ont d'ailleurs pas tardé à étudier ce problème. Des pistes rendues glissantes par l'eau et la glace constituent la première cause des accidents d'avions à l'atterrissage (figure 1).



**Figure 1** Accidents à l'atterrissage selon le descripteur d'événement  
(Monde entier - Avions à réaction commerciaux – 1988-1997)  
Source : Boeing

L'écrasement d'un avion à Dryden, Ontario, en 1989, a souligné toute l'importance de la question. Le rapport de la Commission Dryden, chargée de l'enquête sur cet accident, formule de nombreuses recommandations, dont la nécessité d'«accélérer les recherches sur des moyens techniques précis capables de définir l'état de surface des pistes et les effets de cet état sur les performances des avions» (2). Les premiers travaux menés sous l'égide de la Commission Dryden ont débouché sur l'impossibilité d'arriver à des conclusions ou de mettre au point des méthodes de mesure à partir des données disponibles à l'époque (3). La mise en service de nouveaux produits et de nouvelles techniques de dégivrage des aéronefs et des pistes, et l'accélération des procédures aux aéroports allaient poser des obstacles à l'acquisition des données nécessaires.

La sûreté des opérations aériennes sur des pistes chargées de glace, de neige, de neige fondante, de liquides anti-givrage et d'autres contaminants semblables dépend de ce qui suit :

- l'établissement de données de performance précises, dans toute une gamme de conditions;
- l'interprétation de ces données;
- la communication des résultats aux préposés à la régulation des vols et aux équipages;
- la prise en compte des résultats dans les règlements et les procédures.

Dans la plupart des pays, des lignes directrices régissent les opérations aériennes en hiver, mais il n'existe pas encore de règle ou de pratique universelle dans ce domaine. Le Canada a utilisé l'indice de freinage James (JBI, pour *James Braking Index*) jusqu'en 1998, année où celui-ci a été revu et rebaptisé Indice canadien de la glissance des pistes (CRFI, pour *Canadian Runway Friction Index*). Un des problèmes fondamentaux, sur le plan technique, consiste à établir une relation entre la performance en freinage des aéronefs et les données de frottement enregistrées par des véhicules au sol spécialement adaptés.

En décembre 1995, par suite de la publication d'un Livre blanc rédigé conjointement par le gouvernement fédéral et l'industrie canadienne (4), Transports Canada (TC) et la U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) signaient un protocole d'entente visant le lancement d'un programme quinquennal de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver. Des organismes nord-américains et européens (l'Administration norvégienne de l'aviation civile, par exemple, a également signé un accord conjoint) ayant manifesté leur appui, un programme international – le Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver – était mis sur pied en janvier 1996.

## 1.2 Objectifs

Voici les objectifs assignés au programme, élaborés en fonction de l'accord initial conclu entre TC et la NASA :

- Améliorer et enrichir les bases de données concernant l'adhérence pneu-chaussée sur des pistes chargées de contaminants.
- Utiliser ces données pour valider les tables de distances d'atterrissage (et les transposer, si possible, aux distances d'accélération-arrêt, pour les décollages interrompus) en utilisant le nouveau CRFI au lieu du JBI.
- Mieux définir la traînée due à la neige fondante et la traînée due au choc des projections associées aux opérations sur pistes couvertes de neige, de glace ou d'eau stagnante.
- Mesurer l'effet de l'application de produits de dégivrage des avions/pistes sur l'adhérence des pneus, dans une gamme de températures ambiantes et d'états de contamination des pistes.
- Étudier les contaminants à l'interface pneu-chaussée, p. ex., neige, glace, produits chimiques, afin d'améliorer la prédiction de la performance des avions.
- Déterminer les effets de différents facteurs sur la pilotabilité des avions par vent traversier, lors de manoeuvres sur pistes contaminées.
- Aider à harmoniser, et ultimement à normaliser, la mise en application des conclusions du programme partout au monde, par l'élaboration d'un IRFI.
- Susciter l'adhésion aux normes améliorées des pilotes et des gestionnaires d'aéroports du monde entier.

## 1.3 Organismes participants

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et la U.S. Federal Aviation Administration (FAA) ont immédiatement appuyé le programme lancé par TC et la NASA. L'Administration norvégienne de l'aviation civile et le Service technique des bases aériennes ainsi que la Direction générale de l'aviation civile de France ont également offert leur soutien. D'autres organismes, comme l'Organisation de l'aviation civile internationale, la Joint Aviation Authority (l'équivalent européen de la FAA) et le ministère de la Défense nationale du Canada, de même que des transporteurs aériens et des constructeurs aéronautiques du Canada, des États-Unis, du Royaume-Uni, de France et de Norvège, ont offert diverses formes d'aide : soutien financier, bases de données colligées par leurs propres programmes, compétence technique, matériel, produits, personnel, installations.

L'American Society for Testing and Materials (ASTM) s'est montrée disposée à collaborer avec l'industrie et les milieux aéronautiques pour établir des normes concernant un indice de rapport commun, ou «harmonisateur» des appareils de mesure du frottement, fondé sur les résultats du programme et les commentaires des

participants au programme. L'ASTM a mis sur pied un groupe de travail réunissant des représentants de divers pays, afin de définir les concepts à la base de cet indice, connu sous le nom de Indice international de la glissance des pistes ou IRFI (pour *International Runway Friction Index*).

#### **1.4 Gestion du programme**

Le programme est dirigé par le Comité directeur du Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver, formé de représentants de TC, de la NASA, de la FAA, du CNRC, de la NCAA et de la DGAC. Le Comité est présidé par TC, la NASA et la FAA, à tour de rôle. Le Comité reçoit les commentaires de la USAF, du ministère de la Défense nationale du Canada, de l'American Association of Aeronautical Engineers, du Conseil International des Aéroports, de l'ASTM et des contractants, et les prend en considération dans sa planification et ses décisions.

La participation de Transports Canada au programme est supervisée par la Direction de la sécurité des aéroports et coordonnée par le CDT. La Direction de la certification des aéronefs et la Direction de l'aviation commerciale et d'affaires jouent un rôle actif au sein de l'équipe de gestion, et le Conseil national de recherches du Canada en est partie intégrante.

Voici, de façon détaillée, la contribution de chacun des participants :

Le Centre de développement des transports (CDT), l'organe de recherche de TC, coordonne le programme, appuyé et guidé par le Comité de direction du programme. Cette gestion centralisée favorise la continuité du programme et prévient l'éparpillement des efforts. Le CDT veille à ce que le programme réponde aux besoins de TC et coordonne l'attribution de fonds, les contributions en biens et services, les matériaux utilisés, les installations et les marchés de sous-traitance.

La Direction de la sécurité des aéroports de TC assure le soutien financier et la gestion du programme sur le plan technique. Elle est en outre responsable de l'élaboration de règlements et de normes concernant l'IRFI et les méthodes de compte rendu sur l'état des pistes.

La Direction générale de la certification des aéronefs de TC fournit son expertise technique concernant les essais en vol à l'équipe d'essai du Falcon 20 du CNRC, ainsi que son expertise en matière de performance des aéronefs, aux responsables de l'analyse des données d'essai. Elle contribue en outre à l'élaboration du CRFI et aux aspects techniques du programme.

La Direction de l'aviation commerciale, l'autre direction de TC partie au programme, réalise des études de matériaux, évalue la viabilité commerciale des innovations du

programme, assure la publication des résultats et diffuse l'information nouvelle parmi les organismes de réglementation de l'aviation commerciale.

Le Conseil national de recherches du Canada, par l'intermédiaire de son Institut de recherche aérospatiale, fournit des données, des conseils scientifiques et techniques, ainsi qu'un avion Falcon 20 spécialement instrumenté aux fins du programme. Il publie également des rapports concernant les essais réalisés à l'aide du Falcon 20 et les résultats de ces essais.

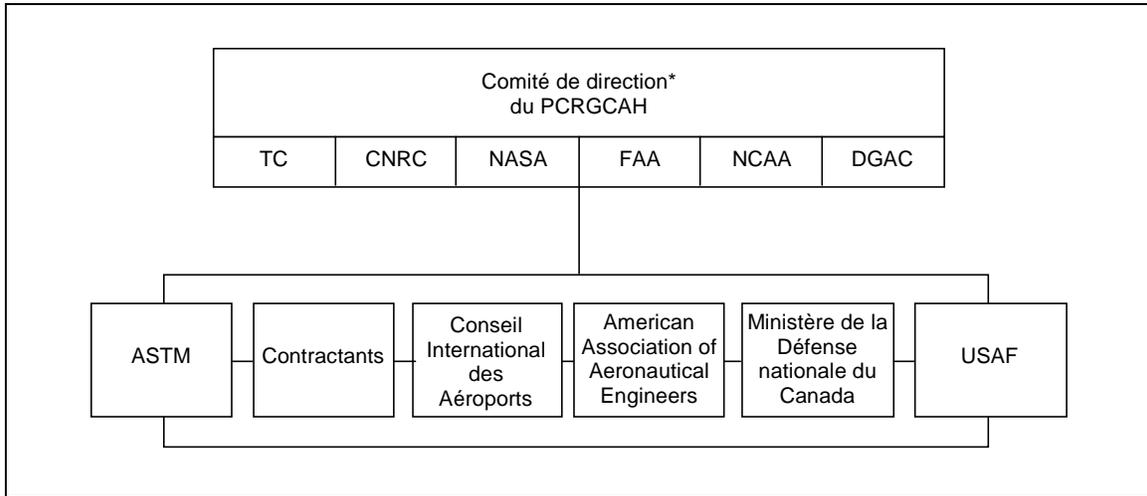
La NASA offre son expertise, son aide et ses conseils pour toutes les questions techniques, et appuie techniquement les essais, par la fourniture de véhicules au sol, la prise de photographies et l'enregistrement de bandes vidéo des essais, et la mise à disposition de sites d'essai, d'un avion d'essai avec équipage, y compris du matériel et des services d'entretien connexes. De plus, elle traite et analyse les données d'essai et diffuse l'information concernant le programme auprès des milieux de l'aviation.

La FAA constitue une autre source d'expertise technique. À ce titre, elle participe à tous les aspects du programme, y compris au Comité de direction technique. Elle fournit également un avion d'essai, des véhicules de mesure au sol, des pilotes, et du matériel connexe.

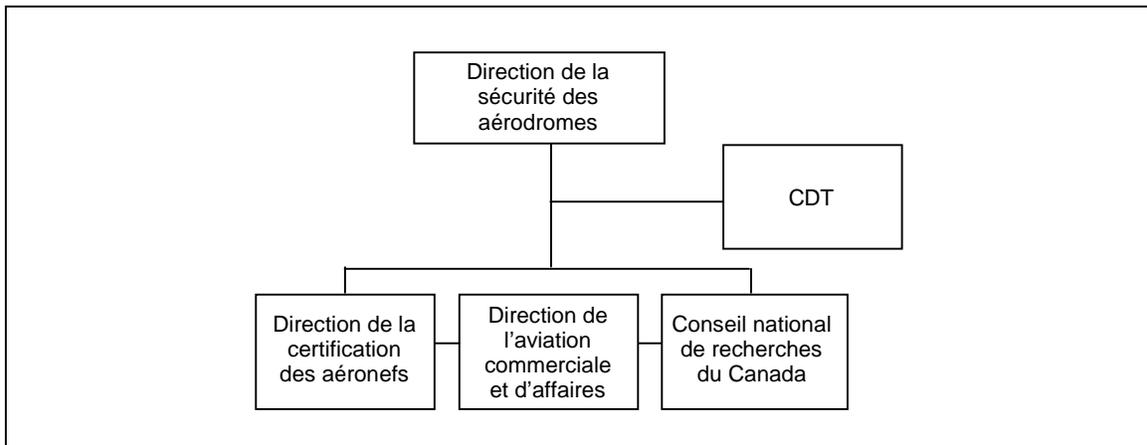
L'Agence de l'aviation civile de l'OTAN (NCAA) possède une connaissance particulière des problèmes que présentent les pistes en hiver et permet la tenue d'essais à sa nouvelle piste d'essai de l'aéroport d'Oslo. Elle fournit de précieux conseils sur les modifications à apporter aux documents de l'OACI pour que l'ensemble des opérations aériennes soient plus sûres, et elle est un membre actif du Comité de direction technique.

La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) de France apporte une expérience et un point de vue européens. Elle fournit également du matériel d'essai, en plus de participer à l'analyse et à l'interprétation des données recueillies. Elle fait partie du Comité de direction technique chargé de l'élaboration d'un IFRI.

La figure 2 présente le cadre organisationnel mis en place au cours du programme et la figure 3, la structure de gestion du programme au Canada.



**Figure 2** Cadre organisationnel global  
\* TC, la FAA et la NASA président le Comité à tour de rôle.



**Figure 3** Structure canadienne de gestion du PCRGAH

---

## 2. PROGRAMME

*Les paramètres de performance des avions... ne peuvent être prédits qu'à la suite de calculs et d'essais touchant chaque type d'avion, pour toute la gamme des types et des états de surface qu'il est susceptible de rencontrer en service.*

*Norsemeter Runway Friction Primer (5)*

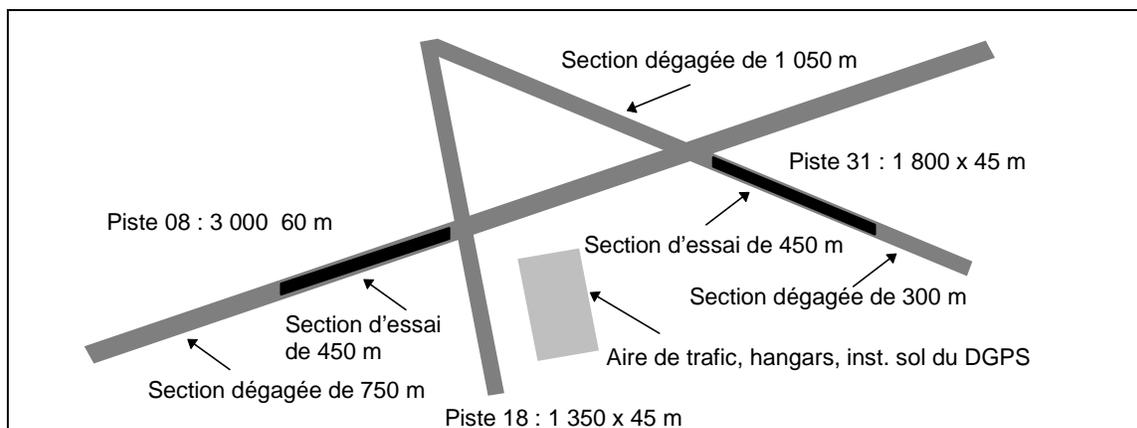
Pour atteindre les objectifs assignés au programme, l'équipe TC/NASA a prévu une démarche en cinq phases :

- acquisition de données à l'aide d'appareils de mesure spécialement adaptés;
- acquisition de données par des essais à l'aide d'avions instrumentés;
- analyse, corrélation et interprétation des données;
- application des connaissances acquises à l'élaboration d'un IRFI;
- validation de la méthode d'élaboration de l'IRFI.

Le programme prévoit également des réunions devant permettre la diffusion d'information et des discussions concernant l'élaboration de l'IRFI.

L'équipe a jugé que l'aéroport Jack Garland, à North Bay, en Ontario, représentait le site idéal pour la tenue des essais en conditions hivernales. L'aéroport comporte trois pistes, dont une de 3 000 m (10 000 pi) de longueur, et offre des conditions météorologiques hivernales propices aux essais, soit l'absence de couverture nuageuse et de chutes de neige dues à l'effet de lac. De plus, le matériel et les installations y sont excellents, on y trouve des services de sécurité et d'entretien, et comme l'activité n'y est pas trop intense, les essais causent peu de perturbations. La figure 4 illustre la disposition des pistes.

Les essais mettant en jeu des avions comportent l'exécution de trois manoeuvres critiques – décollage, atterrissage et décollage interrompu (accélération-arrêt) – sur diverses surfaces. Les paramètres mesurés sont le coefficient de freinage, l'accroissement de la traînée et la vitesse de l'avion, dans diverses circonstances (p. ex., volets rentrés, volets sortis, avec freinage, sans freinage). Des véhicules au sol prennent des mesures du frottement avant et après chaque circuit d'avion, et les valeurs mesurées par les avions et les véhicules au sol sont comparées. Les mesures découlant des essais d'aéronefs servent à établir un modèle théorique de la relation entre le coefficient de frottement et la distance d'arrêt et à mettre au point des tables de calcul précises. La figure 5 donne un aperçu du calendrier des essais.



**Figure 4** Disposition des pistes de l'aéroport de North Bay  
Source : CNRC (10)

## 2.1 Programme d'essais de 1996

Les premiers essais, effectués à l'aéroport Jack Garland en janvier 1996, ont été réalisés à l'aide du Falcon 20 (de Dassault) fourni par le CNRC et équipé des instruments suivants :

- transducteurs pour la mesure du poids sur les roues et de la pression de freinage;
- accéléromètres et gyromètres dans les trois axes;
- détecteurs d'assiette et de cap;
- altimètre radar.

Un GPS différentiel a été utilisé pour la mesure directe des différents segments de la distance d'atterrissage réelle et pour indiquer en temps réel la position de l'avion, nécessaire pour assurer l'uniformité des approches de précision.

Quatre appareils de mesure du coefficient de frottement ont été utilisés pour mesurer la glissance des chaussées aéronautiques soumises à divers types de contamination :

- un décéléromètre électronique fourni par TC;
- un appareil à glissance constante GripTester, de construction écossaise;
- un analyseur de profil RUNAR, à glissance variable, de construction norvégienne;
- un appareil Saab (SFT), de construction suédoise.

Les pistes étaient préparées de façon que les données recueillies couvrent l'éventail le plus large possible de conditions hivernales. Les données colligées concernent 12 vols d'essai du Falcon 20 et quatre formes de contamination.

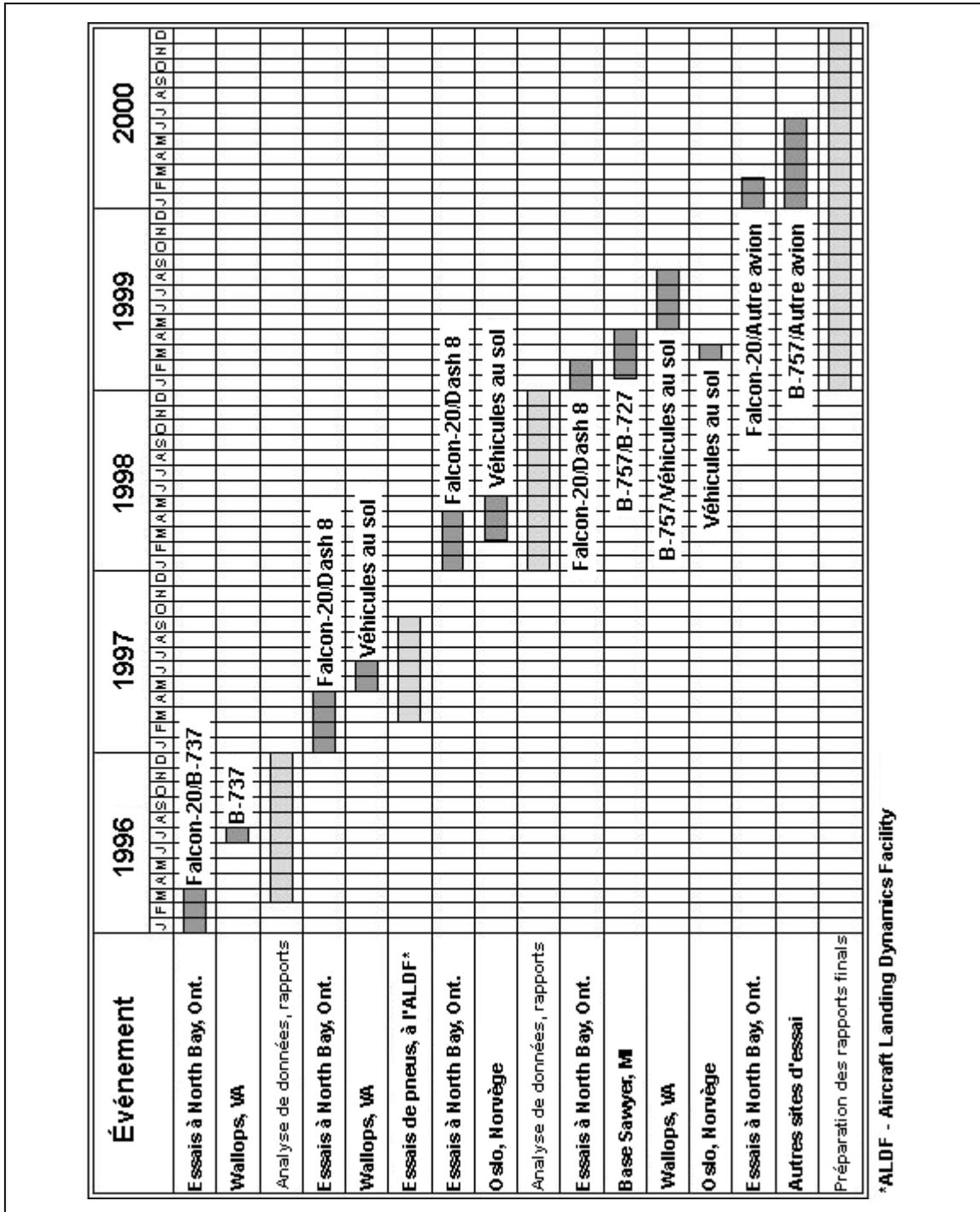


Figure 5 Calendrier du Programme de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver  
 Source : NASA

En mars, d'autres essais ont eu lieu, qui mettaient en jeu non seulement le Falcon 20, mais aussi un B-737 de la NASA. Trois appareils de mesure du frottement se sont également ajoutés à ceux utilisés lors des essais de janvier :

- un véhicule de mesure du frottement IMAG, de construction française;
- un véhicule freiné en diagonale fourni par la NASA;
- un appareil K.J. Law de la FAA.

Le B-737 a été équipé d'instruments permettant d'enregistrer des données concernant la position des gouvernes, la performance du système de freinage, le régime des moteurs et le réglage des gaz, ainsi que l'accélération de l'avion, son cap et sa vitesse longitudinale.

D'autres données ont été recueillies en août, lors d'une série d'essais sur pistes mouillées et couvertes d'eau réalisés à l'aide du B-737 et du véhicule freiné en diagonale de la NASA, au Centre de vols spatiaux des îles Wallops de la NASA, en Virginie.

Les données recueillies ont été réduites et analysées. Dans le cas du Falcon 20, la performance de l'avion en freinage pour chaque état de surface a été comparée aux valeurs JBI et aux coefficients de frottement mesurés par les appareils au sol. Une équation a été formulée, dans laquelle la distance de freinage de l'aéronef est considérée comme proportionnelle à la vitesse d'approche sol et à la décélération moyenne. Cette équation a servi à déterminer les distances totales d'atterrissage à partir d'une hauteur de 15,4 m (50 pi) jusqu'à l'arrêt complet, pour des valeurs d'indice de freinage James variant de 0,1 à 0,8 (6).

Quant aux essais réalisés à l'aide du B-737, ils ont fourni à la NASA une information utile pour l'étude des questions suivantes : harmonisation de la performance en freinage des avions et des mesures du coefficient de frottement des véhicules de piste; comptes rendus en fonction du temps des paramètres des avions; traînée de contamination induite; effets d'autres facteurs sur les coefficients de frottement des aéronefs/véhicules de piste. Pour un état de piste donné, les données d'accélération longitudinale enregistrées lors des circuits de référence sans freinage ont été analysées de façon à déterminer l'effet sur le coefficient de freinage de la traînée aérodynamique, de la résistance au roulement des pneus, de la poussée de ralenti et de la modification de la valeur zéro de l'accéléromètre résultant de la traînée due au déplacement des contaminants et au choc des projections. Des coefficients de freinage ont été établis pour l'aéronef, à partir d'un pourcentage moyen de la masse brute de l'avion reposant sur les roues du train d'atterrissage principal en freinage (7).

L'évaluation des quatre appareils de mesure au sol utilisés pour la première série d'essais a révélé que la corrélation entre les véhicules varie selon l'état de surface et qu'au coefficient de frottement maximal sur surfaces enneigées ou glacées, la valeur moyenne de glissance est à peu près le double de celle sur surfaces mouillées (8).

## 2.2 Réunion internationale de 1996

En octobre 1996 s'est tenue, sous l'égide de TC et de la NASA, la Réunion internationale sur la performance des avions utilisant des pistes chargées de contaminants (IMAPCR '96). Cette réunion visait les objectifs suivants :

- présenter les résultats des essais de la première année du PCRGCAH;
- échanger des idées et de l'information;
- discuter des plans d'essai pour la saison suivante;
- établir le concept d'un indice international de la glissance des pistes.

La réunion fut un franc succès. Cent trente-huit délégués de huit pays y assistaient, représentant des exploitants d'aéronefs, des organismes de réglementation, des groupes de pilotes, des fabricants d'équipement de mesure de la glissance et des industries connexes.

Tous ont reconnu la valeur du programme et le bien fondé d'un indice international de la glissance des pistes. Les recommandations des ateliers ont souligné l'importance de publier à chaque étape les résultats du programme, d'uniformiser la définition des contaminants et d'autres termes clés, et de mettre en place des mécanismes pour garantir une participation continue des partenaires (7).

## 2.3 Programme d'essais de 1997

L'intérêt suscité par la première année d'essais du PCRGCAH et les discussions entre organismes participants ont débouché sur plusieurs recommandations en vue du plan d'essais de 1997. Aux fins de cette campagne, la FAA a fourni un B-727 instrumenté, avec équipage, et de Havilland a offert un Dash 8, le seul avion turbo-réacté à participer aux essais. Ces avions s'ajoutaient au Falcon 20. Des appareils de piste supplémentaires ont également été utilisés, ce qui accroissait les possibilités de corrélation. Voici la liste de ces appareils :

- décéléromètre Tapley and Bowmonk;
- véhicule ITTV (*instrumented tire test vehicle*) de la NASA;
- skiddomètre E-274;
- mumètre;
- skiddomètre BV-11.

Les essais de 1997 ont comporté une première phase, qui s'est tenue à l'aéroport Jack Garland du 20 au 31 janvier, et une deuxième phase, du 23 février au 7 mars. Conformément aux recommandations formulées à la suite des essais de 1996, la définition des caractéristiques des contaminants a été intégrée aux objectifs du programme (9).

Les états de piste suivants ont été étudiés : surface dégagée sèche, glace vive, neige fondante, neige sèche, neige mouillée, neige tassée, neige tassée mêlée de sable. Les essais ont comporté 130 circuits d'avions et plus de 1 000 circuits d'appareils de piste, au cours desquels une masse de données ont été colligées.

Les essais mettant en jeu le Falcon 20 se sont terminés abruptement, après vingt-sept circuits, en raison de l'ingestion de neige par un moteur. Les travaux d'analyse ont porté sur les valeurs de glissance associées aux systèmes de freins antipatinage, sur le coefficient de freinage des avions en présence et en l'absence de traînée de contamination, et sur la vérification des tables JBI. Des écarts ont été constatés par rapport aux résultats obtenus en 1996, notamment en ce qui a trait à la traînée de contamination, soulignant l'importance de bien définir les caractéristiques physiques des contaminants et d'enrichir encore la base de données (10).

L'analyse des données recueillies à l'aide du B-727 a consisté entre autres à calculer la traînée due aux contaminants et le coefficient de freinage, à partir des mesures de l'accéléromètre embarqué et de celles de la jauge extensométrique fixée au train d'atterrissage. La différence entre ces deux mesures devrait en théorie correspondre à la traînée due au choc des projections contre le fuselage. La traînée due aux contaminants s'est révélée essentiellement constante avec la vitesse sol, sur les surfaces étudiées. En raison de la dispersion des données, il a été recommandé de pousser la recherche (11).

L'analyse des données d'essais faisant intervenir le Dash 8 a comporté le calcul de la traînée due aux contaminants, de même que la traînée totale due au déplacement des contaminants et au choc des projections. Un modèle empirique de la traînée due aux contaminants en fonction de la vitesse a été élaboré et a servi à déterminer des coefficients de freinage. Un écart significatif a été observé entre la traînée prédite par le modèle et la traînée mesurée. Les essais ayant été réalisés sur des surfaces travaillées mécaniquement, la question s'est posée à savoir si on obtiendrait les mêmes résultats sur neige naturelle (12).

## **2.4 Atelier 1997 de la NASA**

En mai 1997, la NASA accueillait plus de 100 participants de dix pays à un atelier sur l'adhérence pneu-chaussée, qui a eu lieu à son Centre de vols spatiaux des îles Wallops. Parallèlement à des exposés et à une rencontre du groupe de travail chargé de l'élaboration de l'indice international de la glissance des pistes, l'atelier comportait 1 000 circuits d'essai de frottement sur 21 états de surface différents. Près de 500 mesures de la texture/rugosité des surfaces ont été obtenues, à l'aide de 11 appareils de mesure différents (13).

## 2.5 Réunion 1997 du Comité de direction

Une réunion du Comité de direction du Groupe de consultation technique a eu lieu en octobre 1997. Cette réunion visait les objectifs suivants :

- passer en revue les résultats du programme à ce jour;
- coordonner les activités de recherche des diverses organisations gouvernementales participantes;
- revoir les aspects techniques du programme d'essais de l'hiver 1997-1998;
- discuter des aspects réglementaires des opérations sur pistes contaminées en hiver;
- discuter de l'état des travaux concernant l'élaboration d'un indice international de la glissance des pistes.

Les trente-huit membres présents à la réunion représentaient des organismes gouvernementaux et privés des États-Unis, du Canada, de la Norvège, de la Suède, de la France et du Royaume-Uni.

Les discussions sur le programme d'essais de 1997 ont été suivies d'exposés couvrant les sujets suivants :

- plans provisoires concernant les essais de l'hiver 1998 et suggestions de domaines de recherche;
- le point sur les travaux du Sous-groupe sur les pistes contaminées du Groupe d'études aéronautiques de la JAA;
- méthodes de corrélation des données obtenues par les appareils de mesure au sol et les avions d'essai (ESDU, R.-U.);
- méthodologie en vue de l'élaboration d'un vocabulaire international des contaminants (CNRC);
- proposition d'exigences canadiennes pour les opérations sur pistes contaminées (Association des industries aérospatiales du Canada);
- examen des facteurs économiques associés aux opérations sur pistes contaminées (Boeing, Airbus, Canadair);
- compte rendu des travaux sur l'IRFI (MFT, Norvège).

Les discussions qui ont suivi les exposés ont permis de confirmer les plans d'essais pour 1998 et d'avoir une idée plus claire des problèmes toujours en suspens (13).

## 2.6 Programme d'essais de 1998

Les essais de 1998, tenus à l'aéroport Jack Garland, ont mis en jeu un Falcon 20 et un Dash 8, de même que 13 appareils de mesure du coefficient de frottement. Une première série d'essais a eu lieu du 25 janvier au 13 février. Comme le Falcon 20 était disponible jusqu'en mars, d'autres essais ont été menés sur neige mouillée naturelle et

sur neige fondante, à chaque fois que l'accumulation de neige le permettait. Les états de surface pour les essais à l'aide du Dash 8 étaient les suivants : glace rugueuse, glace modérément lisse, et sable sur glace modérément lisse.

Les dix séances d'essais à l'aide du Falcon 20 ont généré une information précieuse sur la traînée de contamination, et ont révélé que le système antipatinage de l'avion est bien adapté aux diverses conditions déterminant l'adhérence pneu-chaussée. Dans l'ensemble, la performance en freinage correspondait bien aux valeurs CFRI (14).

Les essais à l'aide du Dash 8 n'ont pas permis d'étudier la traînée due aux contaminants. En effet, les essais n'ont révélé aucune traînée appréciable due au choc des projections ou au déplacement des contaminants sur les surfaces étudiées. L'analyse a plutôt porté sur les coefficients de frottement de freinage et sur le patinage des roues (15).

Des analyses de corrélation ont été effectuées sur les facteurs de frottement mesurés par les véhicules de piste. Les résultats ont révélé que la charge verticale est un facteur étroitement lié au coefficient de frottement (16).

## **2.7 Essais de Norvège, 1998**

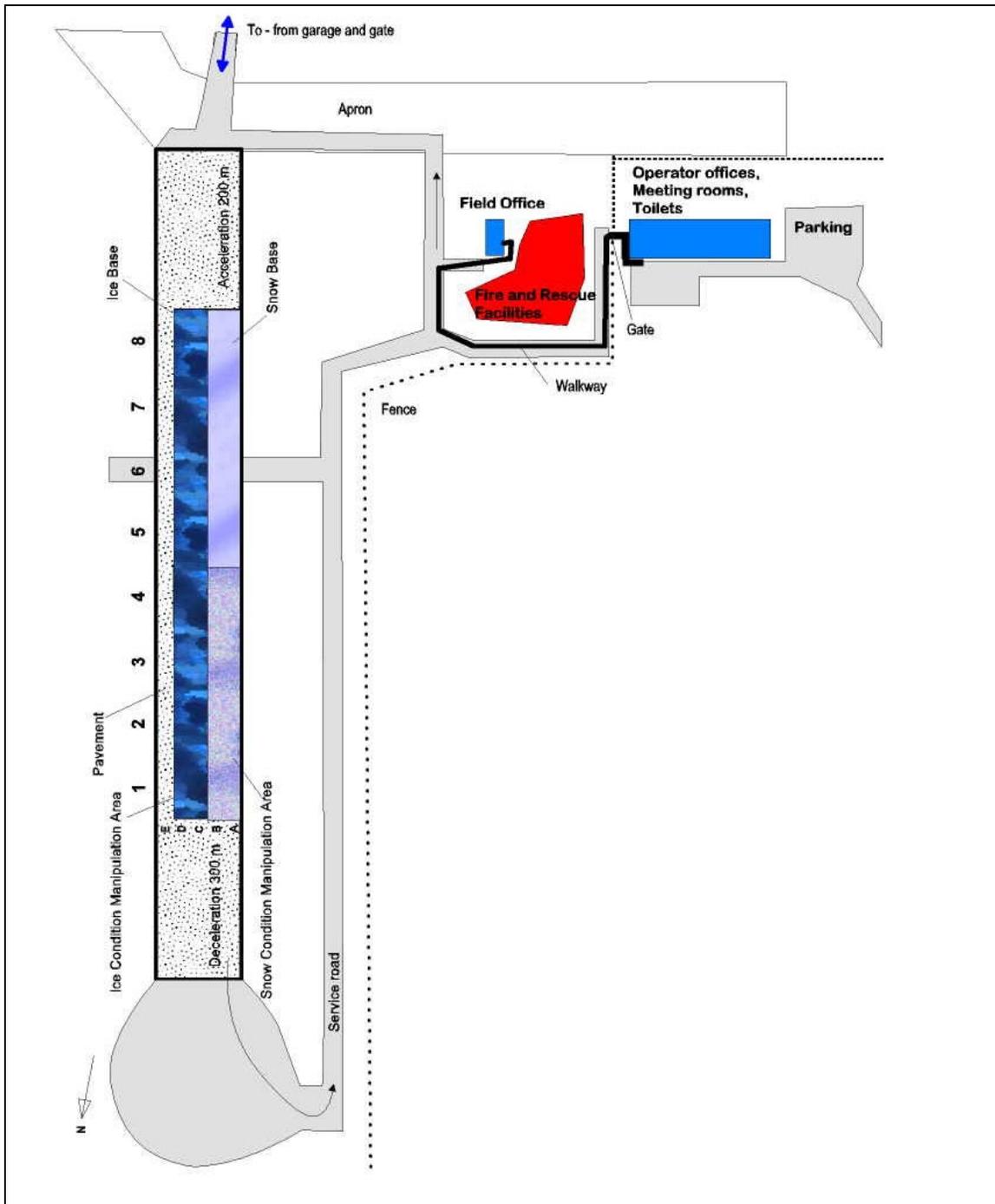
En mars 1998, des véhicules de mesure du frottement au sol ont été mis à l'essai sur la nouvelle piste d'essai Ottar K. Kollerud, à l'aéroport d'Oslo. Cette installation a été construite pour faciliter l'étalonnage des appareils de mesure du frottement utilisés par les aéroports norvégiens. À la fin de l'hiver, les appareils sont apportés à la piste d'essai, où ils sont soumis à des contrôles et des réglages de précision.

La piste d'essai comporte un large éventail de textures de surface, une zone d'accélération à chaque extrémité, et est divisée en 40 segments facilement identifiables (17). La figure 6 montre le tracé de la piste.

Les mesures prises sur diverses surfaces ont été comparées et corrélées. Les résultats se sont avérés utiles pour l'élaboration de l'IRFI (18).

## **2.8 Atelier de la NASA 1998**

L'atelier 1998 sur l'adhérence pneu-chaussée, tenu du 11 au 14 mai au Centre de vols spatiaux des îles Wallops, suivait essentiellement le même calendrier que l'atelier 1997. Treize véhicules de piste ont été mis à l'essai sur diverses surfaces mouillées, et les valeurs de frottement ont été comparées. Les données recueillies ont été analysées afin de déterminer la vitesse minimale d'aquaplanage pour chaque véhicule (19).



**Figure 6** Tracé de la piste d'essai et d'étalonnage Ottar K. Kollerud (17)  
 Non à l'échelle

## 2.9 Programme d'essais de 1999

Voici le programme des essais de 1999 :

17-29 janvier	Essais à l'aide du Falcon 20 à l'aéroport Jack Garland
31 janvier – 5 février	Essais à l'aide d'un B-757 à la base Gwinn-Sawyer, Michigan
28 février – 5 mars	Essais à l'aide de véhicules de piste à la piste d'essai de l'aéroport d'Oslo
Mai-août	Essais à l'aide d'un B-757 et de véhicules de piste au Centre de vols spatiaux des îles Wallops

Pour ce qui est de l'élaboration de l'IRFI, les deux appareils choisis en tant qu'appareils de référence (voir la section 3) seront disponibles à tous les lieux d'essai, aux fins de valider l'IRFI et d'élargir sa portée à d'autres véhicules de mesure du frottement. L'ITTV sera également incorporé aux essais de 1999.

Les essais de cette année seront en outre l'occasion de donner suite à d'autres recommandations formulées par le groupe de travail de l'ASTM :

- priorité : essais sur surfaces couvertes de glace vive ou de plaques de glace, et sur surfaces couvertes de neige compactée ou de plaques de neige;
- essais dans une gamme de conditions de surface, de température, et d'humidité (piste sèche, mouillée, couverte d'eau);
- observation minutieuse des essais et enregistrement des données sur toute la longueur de la piste;
- essais préliminaires pour vérifier l'homogénéité des surfaces d'essai;
- photographie des surfaces avant et après les circuits d'essai, et après toute modification de l'état de surface;
- essais de validation du modèle IRFI.

Au moment où ces lignes sont écrites, seules les deux premières séries d'essai ont été réalisées.

Environ 60 membres de l'équipe de chercheurs du PCRGCAH se trouvaient à l'aéroport Jack Garland, entre le 18 et le 29 janvier, pour assister aux essais de véhicules de piste, faisant intervenir un certain nombre d'appareils et le Falcon 20 du CNRC, instrumenté. Voici les véhicules de piste utilisés :

- ITTV (*instrumented tire test vehicle*);
- IMAG;
- GripTester;
- analyseur et enregistreur de routes;
- appareil de mesure de la glissance des pistes;

- skiddomètre BV-11;
- SFT (*Saab friction tester*);
- décéléromètre électronique (ERD);
- RUNAR.

Ces véhicules ont effectué près de 500 circuits sur des pistes répondant à 12 états différents d'enneigement et de givrage, afin de poursuivre la validation de l'IRFI. Le Falcon 20 a exécuté 18 circuits d'essai de freinage et de mesure de la traînée due aux contaminants (sans freinage) sur quatre formes différentes de contamination. L'équipe a recueilli les mesures de frottement enregistrées par les véhicules de piste avant et après chaque série d'essais du Falcon 20.

Près de 70 chercheurs étaient réunis à la base aérienne Sawyer pour assister au lancement des essais, le 1<sup>er</sup> février. À cause de conditions météorologiques défavorables en début de semaine, les essais ont été prolongés jusqu'au 7 février.

Les cinq véhicules de piste énumérés ci-après ont exécuté quelque 300 circuits sur dix états de surface répondant à différentes formes de contamination par la neige et la glace :

- ITTV;
- IMAG;
- GripTester;
- SFT (*Saab friction tester*);
- ERD.

Le B-757 de la NASA a effectué 29 circuits d'essai de freinage et de mesure de la traînée de contamination, sur sept états de piste différents.

Ces trois semaines d'essai ont généré une imposante base de données qui devrait amplement suffire à valider la méthodologie retenue pour la mise au point de l'IRFI, en plus de mener à l'établissement d'une corrélation satisfaisante entre les valeurs IRFI et la performance des aéronefs en freinage.



---

### 3. ÉLABORATION DE L'IRFI

*Le concept peut sembler d'une effroyable complexité, mais des outils informatiques peu coûteux le rendront simple et transparent aux utilisateurs.*

*Arild Andresen (20)*

En 1996, l'ASTM créait un groupe de travail d'envergure internationale, composé entre autres de membres du PCRGCAH. Dans un premier temps, le groupe a convenu d'un concept pour le calcul d'un IRFI et a déterminé les besoins en matière de données reliés à un tel indice. Au fur et à mesure des travaux du groupe, les essais étaient modifiés pour tenir compte des problèmes rencontrés et pour valider les types de données obtenues.

Après avoir colligé et analysé la masse de données recueillies, le groupe a mis au point un prototype d'outil de calcul fondé sur la corrélation des valeurs de frottement maximales enregistrées par un appareil de mesure avec celles d'un appareil de référence. Pour être utile, cet outil doit être élaboré à partir d'un appareil de référence fiable et d'une classification type des contaminants.

En décembre 1997, une démarche en trois phases a été proposée :

- harmonisation des appareils de mesure du frottement au sol avec l'IRFI proposé;
- mise en corrélation de l'IRFI et avec les coefficients de freinage de divers types d'aéronefs;
- élaboration d'une table de distances d'arrêt.

En janvier 1998, les travaux de développement d'un appareil de référence étaient entrepris. Tous ont reconnu qu'il fallait d'abord procéder à une nouvelle collecte de données sur la traînée due à la neige fondante : le processus s'annonçait long, ce qui ne pouvait que retarder l'élaboration de l'IRFI. Un véhicule virtuel, représentant une combinaison de plusieurs appareils présentement utilisés, a été proposé. En octobre 1998, le groupe de travail de l'ASTM décidait d'utiliser les valeurs moyennes enregistrées par l'appareil Saab 79 et l'IMAG pour le calage du véhicule virtuel de référence.

Un projet d'IRFI a alors été soumis à l'ASTM en vue d'un examen préliminaire. Cet examen a suscité un certain nombre de questions, auxquelles le programme d'essais de 1999 devrait répondre (voir la section 2.9). Un nouveau projet d'IRFI sera ensuite élaboré, qui prendra en compte les résultats de ces essais, après quoi se poursuivront les démarches en vue de l'acceptation de l'indice.



---

## 4. RÉALISATIONS

*De nouveaux outils et une meilleure compréhension des phénomènes ont lancé les chercheurs sur la piste d'innovations marquantes.*

*Norsemeter Runway Friction Primer (5)*

Depuis son lancement en 1995, le PCRGCAH a fait de grands pas vers ses objectifs. Il a constitué la première base de données substantielle concernant la glissance des pistes, à des températures égales et inférieures à 0 °C. Les milieux aéronautiques internationaux, qui ont accès à cette base de données, n'ont pas tardé à en reconnaître la grande valeur.

Les résultats de l'analyse, par les chercheurs du programme, des données colligées, ont mené à la révision de l'indice de freinage James. La version révisée élaborée dans le cadre du programme, soit l'indice canadien de la glissance des pistes (CFRI), donne aux pilotes des indications plus précises pour calculer les distances d'atterrissage sur des pistes chargées de contaminants.

Les travaux du PCRGCAH ont considérablement aidé à la compréhension des nombreux facteurs influant sur les coefficients de frottement, comme, par exemple, la traînée due à la neige fondante et la traînée due au choc des projections. Quant aux travaux visant à définir un vocabulaire des contaminants et à harmoniser les mesures des appareils de piste, ils vont bon train. La recherche a d'ores et déjà permis d'établir certains faits, soit l'influence capitale de la charge verticale sur le coefficient de frottement des pneus et l'effet négligeable de la vitesse sol sur les coefficients de freinage.

Le programme reçoit de plus en plus d'appui et de reconnaissance à l'échelle internationale et c'est dans un climat de coopération que les partenaires s'emploient à mettre au point un IRFI fondé sur les données les plus complètes et les plus précises possibles, auquel voudront adhérer toutes les parties intéressées.



---

## 5. OBJECTIFS FUTURS

*Notre but est de disposer, à terme, d'un modèle qui fera le pont entre les technologies et méthodes actuelles et futures.*

*Arild Andresen (21)*

L'objectif immédiat du programme est d'élaborer et de valider l'IRFI et de le faire accepter par les milieux officiels. Tous les autres objectifs convergent vers une meilleure précision et une plus grande portée de l'IRFI, ce qui devrait en favoriser l'acceptation.

Voici quelques-uns de ces objectifs subsidiaires :

- enrichir la base de données pour qu'elle prenne en compte encore plus d'états de surface et de types d'aéronefs;
- mener à bien l'harmonisation des coefficients de frottement enregistrés par les véhicules de piste;
- mettre au point un véhicule de référence;
- procéder à la caractérisation des contaminants, y compris à l'étude des matières à l'interface pneu-chaussée (neige, glace et produits chimiques), et de leurs effets sur la performance des aéronefs.

Une fois que l'IRFI aura été officiellement accepté, il importera de veiller à ce qu'il soit entériné et utilisé par les organismes de réglementation, les autorités aéroportuaires, les lignes aériennes et les pilotes.

Un des objectifs à long terme du programme consiste à mettre au point un coefficient de freinage selon le type d'avion et à établir une corrélation entre ce coefficient et l'IRFI. De tels outils devraient permettre d'améliorer considérablement la sûreté et la productivité des opérations aériennes en hiver.



---

## RÉFÉRENCES

1. Norheim, A., *Tribology for aerospace systems – tire/surface interaction*, Norwegian Civil Aviation Administration, Oslo, Norway, May 1998.
2. Moshansky, V.P., *Commission d'enquête sur l'écrasement d'un avion d'Air Ontario à Dryden (Ontario)*, Rapport final, Ottawa, Ontario, 1992.
3. Hamilton, G.B., Biggs, D.C., and Owen, K.D.J., *Aeroplane takeoff and landing performance from contaminated runways*, TP 12596E, Transport Canada, Ottawa, Ontario, November 1995.
4. Winter Runway Friction Measurement and Reporting Working Group, *An evaluation of winter operational runway friction measurement equipment, procedures and research*, WRFMRWG, Montreal, Quebec, November 1994.
5. Norsemeter, *The Norsemeter primer on modern tire-to-roadway surface friction measurement*, 3<sup>rd</sup> edition, Norsemeter, Oslo, Norway, 1996.
6. Croll, J.B., Martin, J.C.T., and Bastian, M., *Determination of Falcon 20 landing distances on winter contaminated runways as a function of the James Brake Index*, IAR-AN-84, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, August 1996.
7. Jordan, A. (éd.), *Compte rendu de la Réunion internationale sur la performance des avions utilisant des pistes chargées de contaminants*, IMAPCR '96, TP 12943, CDT et NASA, Montréal, Québec, octobre 1996.
8. Wambold, J.C., *Evaluation of ground friction measuring equipment under winter runway conditions*, TP 12866E, CDRM Inc., U.S.A., and Norsemeter, Norway, September 1996.
9. Sinha, N. K., *Characteristics of winter contaminants on runway surfaces in North Bay – January and February-March 1997 tests*, LTR-ST-2159, TP 13060E, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, September 1998.
10. Croll, J.B., Martin, J.C.T., and Bastian, M., *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1996/97*, LTR-FR-137, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, August 1997.

11. Bastian, M., and Lamont, P., *Braking friction coefficient and contaminated drag of a B 727 on contaminated runways*, LTR-FR-147, TP 13258E, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, June 1998.
12. Doogan M., Herrmann, E., and Lamont, P., *Braking friction coefficient and contamination drag for the Dash 8 on winter contaminated runways*, DHC-D4547-97-09, de Havilland Inc., Downsview, Ontario, September 1997.
13. Boccanfuso, A. (éd.), *Compte rendu de la réunion du Comité de direction du Groupe de consultation technique sur la performance des aéronefs sur des pistes contaminées*, TP 13257, CDT, Montréal, Québec, octobre 1997.
14. Croll, J.B., Martin, J.C.T., and Bastian, M., *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1997/98*, LTR-FR-151, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, December 1998.
15. Doogan M., Herrmann, E., and Lamont, P., *Dash 8 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces*, DHC-D4547-98-06, Bombardier Aerospace, Montreal, Quebec, June 1998.
16. Comfort, G., *Correlation of the friction factors measured by the ground vehicles tested at the North Bay winter trials*, Unpublished progress report 4632, Fleet Technology Ltd., Kanata, Ontario, 1998.
17. Norwegian Civil Aviation Administration, *JWRFMP, Gardermoen session*, Norwegian Civil Aviation Administration, Oslo, Norway, March 1999.
18. Mobility Friction Technology, *Tire-surface friction characteristics of new pavements*, Technical report TT971, Norwegian Civil Aviation Administration, Oslo, Norway, March 1998.
19. Horne, W.B., *Runway friction tester minimum dynamic hydroplaning speed*, Paper presented to the ASTM E-17.22/96.1 task group meeting, Atlanta, Georgia, June 1998.
20. Andresen, A., *Development of an International Runway Friction Index – concept and techniques under consideration*, Paper presented to the ASTM E-17.22/96.1 task group meeting, San Diego, California, December 1997.
21. Andresen, A., "Harmonization work – an IRFI implementation for predicting AFI" *in Compte rendu de la réunion du Comité de direction du Groupe de consultation technique sur la performance des aéronefs sur des pistes contaminées*, TP 13257, CDT, Montréal, Québec, octobre 1997.