

Doc 9137  
AN/898



# Manuel des services d'aéroport

---

2<sup>e</sup> Partie  
État de la surface des chaussées

Approuvé par le Secrétaire général  
et publié sous son autorité

Quatrième édition — 2002

Organisation de l'aviation civile internationale



Doc 9137  
AN/898



# Manuel des services d'aéroport

---

2<sup>e</sup> Partie  
État de la surface des chaussées

**Approuvé par le Secrétaire général  
et publié sous son autorité**

Quatrième édition — 2002

**Organisation de l'aviation civile internationale**



## Avant-propos

Conformément aux dispositions de l'Annexe 14, Volume I, les États doivent prendre les mesures nécessaires pour enlever, aussi rapidement et aussi complètement que possible, les dépôts qui peuvent se trouver à la surface de l'aire de mouvement, afin d'en limiter l'accumulation et d'assurer ainsi l'obtention de bonnes caractéristiques de frottement ainsi qu'une faible résistance au roulement. L'Annexe recommande en outre que la surface des chaussées soit débarrassée de toutes pierres ou autres objets qui risqueraient d'endommager les structures ou les moteurs d'avion ou de nuire au fonctionnement des circuits de bord. Il est nécessaire d'évaluer l'état des chaussées toutes les fois qu'il n'a pas été possible d'enlever entièrement les dépôts, et de mettre ces renseignements à la disposition des organismes compétents sur l'aéroport. Il est également nécessaire de mesurer périodiquement les caractéristiques de frottement de la surface des pistes et de prendre les mesures qui s'imposent toutes les fois que ces caractéristiques sont inférieures à certains niveaux spécifiés par l'État. Le présent manuel a pour objet d'aider les États à faire en sorte que les mesures appropriées soient prises afin de remédier aux problèmes causés par la présence de dépôts, de résidus de précipitations ou de débris sur l'aire de mouvement.

On ne saurait trop insister sur le fait que l'administration aéroportuaire devrait avoir pour objectif de débarrasser l'aire de mouvement de tous les dépôts et débris susceptibles d'affecter les performances des avions. À cet égard, les recherches se sont poursuivies en vue d'améliorer l'économie et l'efficacité des méthodes mécaniques et chimiques qui sont utilisées pour enlever les dépôts à la surface de l'aire de mouvement. Dans certains cas, toutefois, il est nécessaire de mesurer les valeurs du frottement et, par conséquent, de mettre au point des méthodes acceptables pour l'exécution de ces mesures.

La possibilité d'obtenir une corrélation entre les valeurs du frottement fournies par différents types de dispositifs de mesure

du frottement a fait, depuis quelque temps, l'objet d'essais et d'analyses. En 1972, l'OACI a approuvé un programme visant à déterminer la corrélation entre les différents équipements utilisés pour évaluer les caractéristiques de frottement sur une piste. À la suite de cette étude, un tableau montrant la corrélation établie entre certains dispositifs de mesure du frottement sur les surfaces recouvertes de neige ou de glace a été mis au point. La corrélation établie entre les dispositifs de mesure sur les surfaces mouillées a été jugée inacceptable. Des essais effectués aux États-Unis durant les années 1990 ont révélé une corrélation un peu différente entre les dispositifs de mesure du frottement sur les surfaces en dur recouvertes de neige compactée ou de glace; ces différences ont été attribuées à des modifications apportées aux paramètres du pneu d'essai. De nombreux essais effectués avec de nouveaux pneus en conditions automouillantes ont abouti à la vérification statistique d'une corrélation acceptable entre les différents dispositifs de mesure continue du frottement.

Le présent manuel comporte notamment des éléments concernant les facteurs fondamentaux qui influent sur le frottement, la corrélation entre les différents dispositifs de mesure du frottement sur les surfaces en dur, ainsi que la description de ces dispositifs, les méthodes en usage pour mesurer et communiquer les valeurs du frottement sur les surfaces recouvertes de neige, de glace ou d'eau, la collecte et la diffusion des renseignements sur l'état de la surface des chaussées, et enfin l'enlèvement des dépôts et débris sur l'aire de mouvement.

Il est prévu de tenir à jour le présent manuel. Les éditions futures seront très probablement améliorées en fonction de l'expérience et des observations et suggestions des utilisateurs. C'est pourquoi les lecteurs sont invités à adresser au Secrétaire général de l'OACI leurs opinions, commentaires et suggestions sur la présente édition.



# Table des matières

	<i>Page</i>		<i>Page</i>
<b>Chapitre 1<sup>er</sup>. Généralités</b> .....	<b>1-1</b>	<b>Chapitre 5. Dispositifs de mesure du coefficient de frottement sur une piste</b> .....	<b>5-1</b>
1.1 Introduction .....	1-1	5.1 Possibilité de normalisation .....	5-1
1.2 Importance des caractéristiques de frottement de la surface des pistes et de l'efficacité du freinage .....	1-1	5.2 Critères pour de nouveaux dispositifs de mesure du frottement .....	5-1
1.3 Cas nécessitant l'évaluation de l'état de la surface d'une piste .....	1-3	5.3 Corrélation entre les différents dispositifs de mesure du frottement .....	5-2
1.4 Traînée due aux résidus de précipitation .....	1-3	5.4 Corrélation avec les performances d'arrêt des avions .....	5-6
1.5 Terminologie .....	1-4	5.5 Étude générale des dispositifs de mesure du frottement .....	5-7
<b>Chapitre 2. Évaluation des facteurs fondamentaux qui influent sur le frottement</b> .....	<b>2-1</b>	5.6 Mumètre .....	5-7
2.1 Épaisseur de la nappe d'eau et son influence sur l'hydroplanage dynamique .....	2-1	5.7 Véhicule de mesure du frottement sur les pistes .....	5-8
2.2 Dépôts à la surface .....	2-4	5.8 Skiddomètre .....	5-8
2.3 Texture superficielle .....	2-4	5.9 Véhicule de mesure du frottement de surface .....	5-12
2.4 Irrégularités de la surface .....	2-6	5.10 Grip Tester .....	5-12
<b>Chapitre 3. Mesure et forme d'expression des caractéristiques de frottement sur les surfaces en dur mouillées</b> .....	<b>3-1</b>	5.11 Véhicule de mesure du frottement Tatra .....	5-12
3.1 Généralités .....	3-1	5.12 Analyseur-enregistreur de piste (RUNAR) .....	5-14
3.2 Mesure .....	3-2	5.13 Décéléromètres .....	5-15
3.3 Communication des renseignements .....	3-4	<b>Chapitre 6. Collecte et diffusion de renseignements sur l'état de la surface des chaussées</b> .....	<b>6-1</b>
3.4 Interprétation des mauvaises caractéristiques de frottement .....	3-5	6.1 Généralités .....	6-1
<b>Chapitre 4. Mesure des caractéristiques de frottement des surfaces en dur recouvertes de neige compactée ou de glace</b> .....	<b>4-1</b>	6.2 Renseignements concernant l'état des surfaces mouillées .....	6-1
4.1 Généralités .....	4-1	6.3 Renseignements concernant l'état des surfaces recouvertes de neige, de neige fondante ou de glace .....	6-3
4.2 Problèmes liés à l'évolution des conditions de mesure .....	4-1	6.4 Imprimé SNOWTAM .....	6-4
4.3 Précision exigée pour les renseignements sur les caractéristiques de frottement .....	4-2	<b>Chapitre 7. Enlèvement de la neige et déglçage</b> .....	<b>7-1</b>
4.4 Mesure .....	4-3	7.1 Généralités .....	7-1
4.5 Communication des renseignements .....	4-3	7.2 Comité neige .....	7-2
		7.3 Plan neige .....	7-2

	<i>Page</i>		<i>Page</i>		
7.4 Méthodes mécaniques .....	7-4	<b>Appendice 2. Inspection visuelle des pistes aux aéroports fréquentés par des avions à réaction et qui ne disposent d'aucun équipement de mesure du frottement .....</b>	<b>A2-1</b>		
7.5 Matériel d'enlèvement de la neige et de déglçage .....	7-5				
7.6 Méthodes thermiques .....	7-23				
7.7 Méthodes chimiques .....	7-23				
7.8 Matériaux utilisés pour enlever la glace sur les aires autres que l'aire de mouvement ....	7-27				
7.9 Enlèvement de la neige fondante .....	7-27				
<b>Chapitre 8. Enlèvement du caoutchouc .....</b>	<b>8-1</b>			<b>Appendice 3. Procédure d'essai de la NASA pour la certification des nouveaux dispositifs de mesure du frottement fonctionnant en mode continu utilisés aux aéroports .....</b>	<b>A3-1</b>
8.1 Généralités .....	8-1				
8.2 Méthodes chimiques .....	8-1				
8.3 Méthodes mécaniques .....	8-2	<b>Appendice 4. Évaluation de l'antidérapance sur des surfaces en dur — Méthode d'essai normalisée fondée sur une technique de mesure continue en mode de freinage à taux de glissement fixe .....</b>	<b>A4-1</b>		
<b>Chapitre 9. Enlèvement de l'huile et de la graisse .....</b>	<b>9-1</b>				
9.1 Généralités .....	9-1	<b>Appendice 5. Exemple de programme d'évaluation du frottement sur les pistes .....</b>	<b>A5-1</b>		
<b>Chapitre 10. Enlèvement des débris .....</b>	<b>10-1</b>				
10.1 Généralités .....	10-1	<b>Appendice 6. Méthodes permettant de mesurer ou d'évaluer l'efficacité de freinage lorsque l'aéroport n'est doté d'aucun dispositif de mesure du coefficient de frottement .....</b>	<b>A6-1</b>		
10.2 Équipement utilisé pour enlever les débris .....	10-2				
10.3 Essais de balayeuse .....	10-3				
<b>Appendice 1. Méthode de calcul du niveau de frottement minimal .....</b>	<b>A1-1</b>	<b>Appendice 7. Types de chasse-neige et accessoires .....</b>	<b>A7-1</b>		
		<b>Appendice 8. Bibliographie .....</b>	<b>A8-1</b>		

# Chapitre 1<sup>er</sup>

## Généralités

*Note.— Dans le présent manuel, les expressions dépôts et débris sont utilisées avec la signification indiquée ci-après. L'expression dépôts désigne une accumulation de certaines matières (neige, neige fondante, glace, eau stagnante, boue, poussière, sable, huile, caoutchouc, par exemple) sur les chaussées d'un aéroport, cette accumulation étant de nature à nuire aux caractéristiques de frottement sur ces chaussées. Les débris sont des fragments de matières diverses, comme du sable, des pierres, du papier, du bois, du métal, ou des fragments de chaussée, susceptibles d'endommager un avion en venant heurter la structure ou en pénétrant dans les moteurs, ou de nuire au fonctionnement des circuits de bord. Ils sont à l'origine des dommages appelés FOD (dommage par corps étranger).*

### 1.1 INTRODUCTION

1.1.1 Dans certaines conditions d'exploitation, l'efficacité du frottement entre les pneus d'un avion et la surface de la piste fait l'objet de préoccupations générales, notamment en présence de neige, de neige fondante, de glace ou d'eau, surtout lorsque la vitesse de décollage ou d'atterrissage est élevée. Cette préoccupation est encore accentuée en ce qui concerne les avions de transport à réaction, étant donné que les performances d'arrêt de ces avions dépendent, dans une plus large mesure, du frottement qui peut s'établir entre les pneus et la piste. Les vitesses d'atterrissage et de décollage de ces avions sont élevées et, dans certains cas, la longueur de piste nécessaire pour l'atterrissage ou le décollage tend à devenir critique par rapport à la longueur de piste disponible. En outre, dans de telles conditions, le contrôle directionnel d'un avion risque d'être affecté en cas de vents traversiers.

1.1.2 La gravité du problème est mise en évidence par le fait que les services nationaux de navigabilité recommandent que la distance d'atterrissage nécessaire sur une piste mouillée soit plus grande que la distance nécessaire sur la même piste lorsque celle-ci est sèche. D'autres problèmes associés aux performances de décollage des avions à réaction sur une piste recouverte de neige fondante ou d'eau résident dans la détérioration des performances due à la traînée engendrée par les résidus de précipitation ainsi que dans les dommages causés à la cellule et le problème de l'ingestion de corps étrangers par les réacteurs.

On trouvera des renseignements sur les mesures à prendre en exploitation pour résoudre le problème des décollages effectués sur des pistes recouvertes de neige fondante ou d'eau dans le *Manuel technique de navigabilité* (Doc 9051).

1.1.3 En outre, il est indispensable de fournir au pilote et au personnel d'exploitation des indications suffisantes sur les caractéristiques de frottement de la surface des pistes et sur l'efficacité du freinage afin qu'ils puissent prendre les mesures correctives appropriées. Si la piste est recouverte de neige ou de glace, l'état de la chaussée devrait être évalué, le coefficient de frottement mesuré et les résultats communiqués au pilote. Si la piste est recouverte d'eau et si la chaussée devient glissante, le pilote devrait être prévenu de l'existence de conditions potentiellement dangereuses.

1.1.4 Avant d'étudier en détail les cas dans lesquels il importe de déterminer le coefficient de frottement de la surface d'une piste, ainsi que les méthodes à utiliser à cette fin, ou l'effet de la traînée due à la présence de neige, de neige fondante, de glace ou d'eau sur cette surface, on ne saurait trop souligner que le but que devrait poursuivre l'administration aéroportuaire est l'enlèvement aussi rapide et complet que possible de tous les résidus de précipitation et le maintien des surfaces de piste dans un état qui ne soit pas préjudiciable aux performances des avions.

### 1.2 IMPORTANCE DES CARACTÉRISTIQUES DE FROTTEMENT DE LA SURFACE DES PISTES ET DE L'EFFICACITÉ DU FREINAGE

1.2.1 Les constatations faites à la suite d'incidents et d'accidents associés à un dépassement ou à une sortie latérale de piste indiquent que, dans un grand nombre de cas, l'insuffisance des caractéristiques de frottement ou de l'efficacité du freinage sur la piste a été la cause principale ou tout au moins un facteur contribuant. En marge de cet aspect lié à la sécurité, la régularité et l'efficacité des opérations peuvent se dégrader de façon appréciable lorsque les caractéristiques de frottement sont mauvaises. Il est essentiel que la surface d'une piste en dur soit construite de manière à présenter de bonnes caractéristiques de frottement lorsque la chaussée est mouillée. À cette fin, il est

souhaitable que l'épaisseur moyenne de la texture superficielle d'une nouvelle surface ne soit pas inférieure à 1 mm, ce qui exige en principe une certaine forme de traitement de la surface.

1.2.2 Une piste doit présenter des caractéristiques de frottement suffisantes pour répondre à trois objectifs principaux:

- a) décélération de l'avion après l'atterrissage ou à la suite d'un décollage interrompu;
- b) maintien du contrôle directionnel durant le roulage au sol, au décollage ou à l'atterrissage, en particulier en présence de vents traversiers, d'une répartition asymétrique de la puissance des moteurs ou de défauts techniques;
- c) mise en rotation des roues lorsqu'elles entrent en contact avec la piste.

1.2.3 En ce qui concerne le freinage ou le contrôle directionnel, il convient de noter que, même pendant le roulage au sol, un avion est soumis à des forces, aérodynamiques ou autres, considérables qui peuvent aussi réduire l'efficacité du freinage, ou engendrer des moments autour de l'axe de lacet. Ces moments peuvent aussi être provoqués par une répartition asymétrique de la puissance des moteurs (panne de moteur au décollage par exemple), par une application asymétrique des freins, ou par des vents traversiers. Le résultat peut influencer de façon critique sur la stabilité directionnelle. Dans chaque cas, le frottement sur la surface de la piste joue un rôle essentiel lorsqu'il s'agit de contrebalancer les forces ou moments en question. Dans le cas de la manœuvrabilité directionnelle, tous les avions sont astreints à des limites précises en ce qui concerne les composantes admissibles de vent traversier. Ces limites diminuent en même temps que diminue l'efficacité du frottement sur la surface de la piste.

1.2.4 En raison de critères opérationnels différents, la réduction du frottement sur la surface de la piste n'a pas la même signification à l'atterrissage et lors d'un décollage interrompu.

1.2.5 À l'atterrissage, le frottement sur la surface de la piste joue un rôle particulièrement important au toucher des roues, pour la mise en rotation des roues à la vitesse de rotation maximale. Il détermine dans une très grande mesure le fonctionnement optimal des systèmes de freinage antidérapants à commande électronique (installés sur la plupart des avions actuels) et l'obtention de la manœuvrabilité directionnelle la meilleure possible. En outre, les spoilers automatiques qui annulent la portance résiduelle et augmentent la traînée aérodynamique, de même que les systèmes de freinage automatique, ne sont déclenchés que lorsque la vitesse de rotation normale des roues est obtenue. Il n'est pas inusité dans les opérations actuelles que la mise en rotation des roues soit retardée en raison de l'insuffisance du frottement sur la surface de la piste. Dans les

cas extrêmes, il arrive que certaines roues ne soient pas du tout mises en rotation, ce qui crée une situation potentiellement dangereuse et se traduit parfois par un éclatement de pneu.

1.2.6 De façon générale, les performances de certification et les spécifications opérationnelles des avions sont fondées sur les caractéristiques de frottement offertes par une chaussée propre et sèche, c'est-à-dire sur des conditions dans lesquelles l'efficacité de freinage réalisable est à son maximum pour la surface en question. La distance d'atterrissage doit normalement être augmentée dans le cas d'une piste mouillée.

1.2.7 Afin de compenser la détérioration de l'efficacité du freinage lorsque les conditions sont défavorables (chaussée mouillée ou glissante, par exemple), des corrections sont apportées, sous la forme d'une augmentation de la longueur de piste nécessaire ou d'une réduction de la masse admissible au décollage ou à l'atterrissage. Pour compenser une diminution de la manœuvrabilité directionnelle, la composante admissible de vent traversier est réduite.

1.2.8 Il existe essentiellement deux moyens d'attaquer les problèmes éventuels causés par un frottement insuffisant sur la surface de la piste:

- a) amélioration de la fiabilité des performances des avions au décollage et à l'atterrissage en fonction du frottement et de l'efficacité de freinage disponibles;
- b) amélioration du frottement sur la surface de la piste en tout temps et dans toutes les conditions atmosphériques.

1.2.9 La première méthode, qui améliorerait uniquement la sécurité mais non l'efficacité et la régularité s'est révélée difficile, surtout pour les raisons ci-après:

- a) difficulté d'exprimer les caractéristiques de frottement en des termes qui aient un sens du point de vue opérationnel;
- b) difficulté d'établir la corrélation entre les dispositifs de mesure du frottement utilisés au sol et les performances de freinage des avions, surtout dans le cas des pistes mouillées.

1.2.10 La deuxième méthode est idéale et s'attaque expressément au problème des pistes mouillées. Elle consiste essentiellement à spécifier des caractéristiques minimales de frottement aux fins de la conception et de l'entretien des chaussées. Il semble que les pistes qui ont été construites conformément aux normes appropriées et qui sont bien entretenues assurent des conditions opérationnelles optimales et répondent à cet objectif. Les efforts devraient donc être centrés sur la formulation et la mise en œuvre de normes appropriées pour la conception et l'entretien des pistes.

### 1.3 CAS NÉCESSITANT L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE LA SURFACE D'UNE PISTE

1.3.1 Les cas dans lesquels il y a lieu de déterminer les caractéristiques de frottement à la surface d'une piste sont les suivants:

- a) cas d'une piste sèche, pour laquelle des mesures ne sont nécessaires qu'à intervalles assez longs pour évaluer l'état de la texture de surface, son usure et le besoin de réparations;
- b) cas d'une piste mouillée, pour laquelle seules des mesures périodiques des caractéristiques de frottement sur la surface sont nécessaires afin de déterminer si ces dernières sont supérieures à un niveau de planification de l'entretien et/ou à un niveau minimal acceptable. Il convient de noter, dans ce contexte, que la présence de dépôts de caoutchouc sur une piste mouillée peut entraîner une réduction appréciable du coefficient de frottement, sous forme d'hydroplanage visqueux;
- c) cas d'une piste recouverte d'une épaisseur d'eau non négligeable, pour lequel il y a lieu de déterminer les risques d'hydroplanage;
- d) cas d'une piste glissante dans des conditions anormales, pour lequel il faudrait faire des mesures supplémentaires lorsque ces conditions se produisent;
- e) cas d'une piste recouverte de neige, de neige fondante ou de glace, pour lequel il faut disposer d'une évaluation récente et appropriée des conditions de frottement;
- f) cas d'une piste recouverte, sur une certaine distance le long de la piste, d'une couche de neige fondante ou de neige mouillée (et même de neige sèche) d'une épaisseur non négligeable, pour lequel il y a lieu de reconnaître la nécessité de tenir compte de la traînée due aux résidus de précipitations.

*Note.*— Une évaluation de l'état de la surface peut être nécessaire s'il existe, à proximité d'une piste ou d'une voie de circulation, des congères d'une hauteur telle qu'elles risquent de constituer un obstacle pour les avions qui sont appelés à utiliser l'aéroport. Les pistes devraient également faire l'objet d'une évaluation après leur construction ou réfection afin d'en déterminer les caractéristiques de frottement à l'état mouillé.

1.3.2 Suivant les cas, l'administration aéroportuaire peut être appelée à prendre les mesures suivantes:

- a) dans le cas des pistes sèches ou mouillées, des mesures correctives devraient être envisagées toutes les fois que les caractéristiques de frottement de la surface de piste sont

inférieures à un niveau de planification de l'entretien. Si les caractéristiques de frottement de la surface de piste sont inférieures à un niveau minimal acceptable, des mesures d'entretien correctives devront être prises et, en outre, des renseignements relatifs à la glissance potentielle sur la piste à l'état mouillé devraient être disponibles (voir à l'Appendice 5 un exemple de programme d'évaluation du frottement de la surface d'une piste);

- b) dans le cas des pistes recouvertes de neige ou de glace, la méthode peut varier selon le trafic, la fréquence de conditions de frottement défavorables et l'existence d'un matériel approprié de nettoyage et de mesure. Par exemple:
  - 1) aux aéroports très fréquentés ou à ceux où les conditions de frottement sont souvent altérées — utilisation d'un matériel approprié pour le nettoyage des pistes et de dispositifs efficaces pour la mesure du frottement en vue de vérifier les résultats;
  - 2) aux aéroports assez fréquentés où les conditions de frottement ne sont pas souvent altérées mais où l'exploitation doit se poursuivre même si le matériel de nettoyage des pistes est insuffisant — mesure du coefficient de frottement de la piste, détermination du risque de traînée due à la neige fondante ainsi que de la position et de la hauteur des congères non négligeables;
  - 3) aux aéroports où l'exploitation peut être interrompue lorsque l'état des pistes l'exige mais où un avertissement de cette interruption est nécessaire — mesure du coefficient de frottement de la piste, détermination du risque de traînée due à la neige fondante ainsi que de la position et de la hauteur des congères non négligeables.

### 1.4 TRAÎNÉE DUE AUX RÉSIDUS DE PRÉCIPITATION

1.4.1 Il est nécessaire de rendre compte de la présence de neige, de neige fondante, de glace ou d'eau sur une piste, ainsi que de l'épaisseur et de l'emplacement des couches de neige, de neige fondante ou d'eau. Les comptes rendus sur l'évaluation de l'épaisseur des résidus de précipitation sur une piste seront interprétés de différentes façons par l'exploitant, selon qu'il s'agit d'un atterrissage ou d'un décollage. Dans ce dernier cas, les exploitants devront prendre en considération l'effet de la traînée due aux résidus de précipitation et, éventuellement, celui de l'hydroplanage, dans le calcul de la distance nécessaire au décollage et pour l'accélération-arrêt, compte tenu des renseignements dont ils disposent. En ce qui concerne les atterrissages, le principal risque est celui d'une diminution du coefficient de frottement résultant du phénomène de l'hydroplanage ou de la

présence de neige compactée ou de glace, alors que les effets de la traînée due aux résidus de précipitation aideraient l'avion à ralentir.

1.4.2 Toutefois, outre les effets néfastes de la traînée qui peut se produire au décollage ou la perte d'efficacité du freinage à l'atterrissage, la neige fondante et l'eau projetées par les roues de l'avion peuvent également causer l'extinction d'un réacteur ainsi que d'importants dommages à la cellule et aux moteurs, ce qui souligne encore davantage la nécessité d'enlever les résidus de précipitation plutôt que de consacrer, par exemple, des efforts particuliers à améliorer la précision des mesures et la communication des caractéristiques de frottement sur une piste couverte de résidus de précipitation.

## 1.5 TERMINOLOGIE

1.5.1 Il n'est pas possible de discuter de méthodes permettant de mesurer le frottement et d'évaluer l'épaisseur de la couche de résidus de précipitation sans considérer tout d'abord certains des phénomènes fondamentaux qui interviennent à la fois au-dessous et autour d'un pneu qui roule. Pour plus de simplicité, toutefois, ces phénomènes peuvent être décrits d'une manière qualitative.

### *Taux de glissement*

1.5.2 Dans le cas des avions de modèles anciens, les freins n'étaient pas dotés d'un système antidérapant; autrement dit, plus le pilote agissait sur les freins, plus le couple de freinage qu'il créait était important. En appliquant une pression sur les freins, il ralentissait la roue et, à condition que le couple de freinage soit suffisant, il pouvait bloquer cette roue. En supposant la vitesse de l'avion égale à 185 km/h (100 kt) et la vitesse du pneu, au point de contact avec le sol, de 148 km/h (80 kt), le pneu glisserait sur le sol à une vitesse de 37 km/h (20 kt). C'est ce qu'on appelle un taux de glissement de 20 %. De la même manière, lorsque le taux de glissement est de 100 %, la roue est bloquée. L'importance de ce facteur réside dans le fait que, en même temps que le taux de glissement varie, la force de frottement produite par la roue varie également, comme le montre le graphique de la Figure 1-1 pour une piste mouillée. Par conséquent, cette force passe par un maximum pour un taux de glissement compris entre 10 et 20 %, ce dont on tient compte dans les dispositifs de freinage modernes pour augmenter l'efficacité de freinage. Ces dispositifs permettent aux roues de glisser approximativement selon ces taux.

1.5.3 L'importance de cette courbe, du point de vue de la mesure du coefficient de frottement sur une piste, réside dans le fait que la valeur correspondant au sommet de la courbe (appelée

$\mu$  maximal) peut être caractéristique, lorsqu'elle est portée en regard de la vitesse, de la surface de la piste, de la présence de résidus de précipitation ou du dispositif de mesure du frottement utilisé et il s'agit, par conséquent, d'une valeur type que l'on peut reproduire. Par conséquent, ce type de dispositif peut être utilisé pour mesurer le coefficient de frottement d'une piste. Dans le cas des pistes recouvertes de neige ou de glace, la valeur mesurée peut être indiquée sous une forme utile pour le pilote. Dans le cas des pistes mouillées, la valeur mesurée peut tenir lieu d'évaluation des caractéristiques de frottement de la piste dans ces conditions.

### *Roue bloquée*

1.5.4 Cette expression dit exactement ce qu'elle veut dire et le coefficient de frottement  $\mu$  obtenu correspond alors à un taux de glissement de 100 % dans la Figure 1-1. On notera que cette valeur de  $\mu$  est inférieure au maximum qui correspond au taux de glissement optimal. Les essais ont indiqué en fait que le taux de glissement  $\mu$  d'un pneu d'avion se situe entre 40 et 90 % de la valeur maximale de  $\mu$  selon l'état de la piste. Cependant, on a également utilisé des véhicules avec une roue bloquée pour mesurer le coefficient de frottement d'une piste. En pareil cas, la valeur mesurée donnerait une indication de la mise en rotation de roue potentielle au toucher des roues.

### *Coefficient de frottement latéral*

1.5.5 Lorsqu'une roue en mouvement dérive, comme par exemple lorsqu'un véhicule change de direction, la force appliquée sur la roue peut s'exercer dans deux directions, l'une orientée dans le plan de la roue et l'autre le long de son axe. Le coefficient de frottement latéral est égal à la force qui s'exerce le long de l'axe divisée par la charge verticale. Si ce rapport est porté en regard de l'angle de dérive sur différentes surfaces, on établit une relation analogue à celle de la Figure 1-2.

1.5.6 Quand cette roue dérive suivant un angle supérieur à 20 degrés, le coefficient de frottement latéral ne peut être utilisé pour fournir une mesure du coefficient de frottement de la piste. Compte tenu de certaines autres considérations, la roue peut en fait travailler à  $\mu$  max. Le rapport entre la force latérale et l'angle de lacet variera selon la pression, la rigidité (construction) et la vitesse du pneu.

### *Frottement «normal» sur piste mouillée et hydroplanage*

1.5.7 Lorsqu'on considère le cas d'une piste mouillée ou recouverte d'eau, le problème du freinage comporte certains aspects distincts et cependant liés entre eux. Tout d'abord, il y a frottement «normal» sur une piste mouillée lorsque, en raison de la présence d'eau sur la piste, le coefficient de frottement

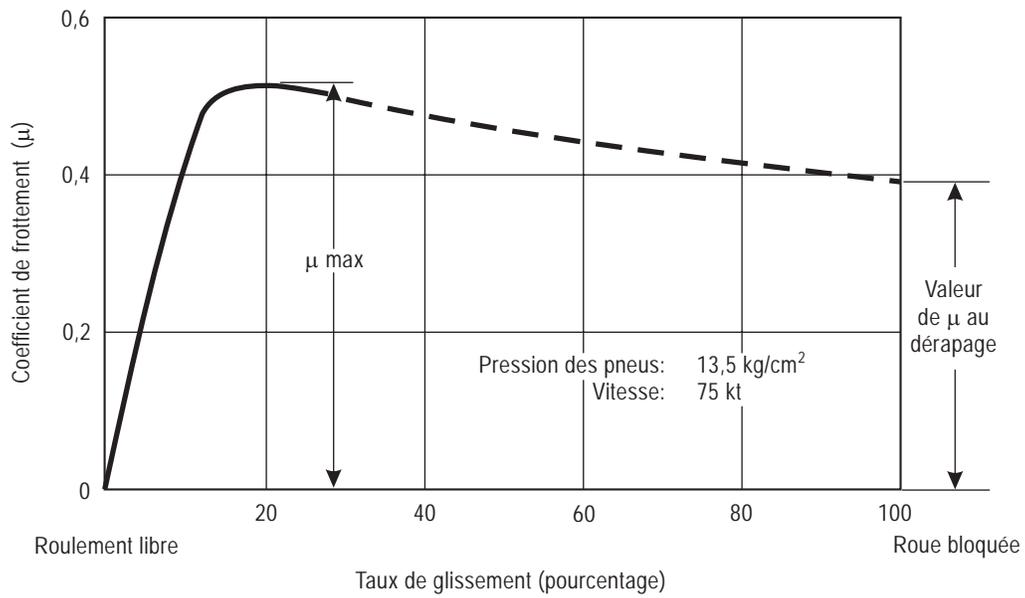


Figure 1-1. Rapport entre le taux de glissement et le coefficient de frottement sur une piste mouillée

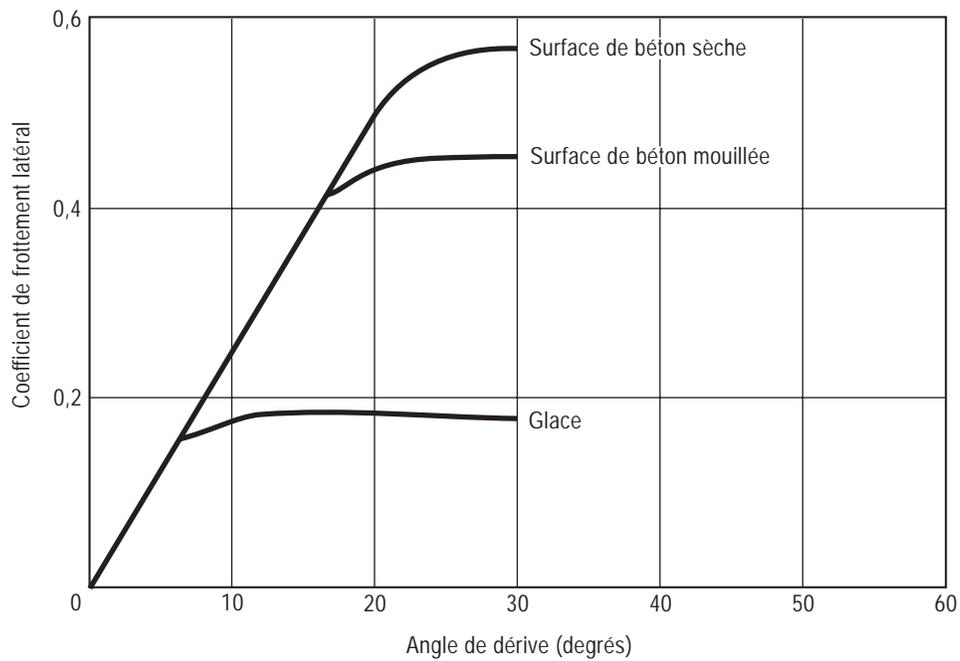


Figure 1-2. Variation type du coefficient de frottement latéral avec l'angle de dérive

disponible devient inférieur à celui que l'on peut obtenir sur la même piste lorsque celle-ci est sèche. Ceci vient du fait que l'eau ne peut pas être complètement chassée par la pression du pneu sur la piste et que le pneu n'est donc que partiellement en contact avec cette dernière. Il s'ensuit une réduction sérieuse de la force qui s'oppose au glissement du pneu sur la piste, une partie des contacts s'établissant entre le pneu et l'eau. Pour obtenir un coefficient de frottement élevé sur une piste mouillée ou recouverte d'eau, il faut donc que la pellicule d'eau intermédiaire soit chassée ou brisée au fur et à mesure que les éléments successifs du pneu entrent en contact avec la piste. Lorsque la vitesse augmente, la durée du contact diminue et le temps disponible pour que s'effectue ce processus est de plus en plus court; le coefficient de frottement sur les surfaces mouillées a donc tendance à diminuer quand la vitesse augmente, c'est-à-dire que la piste devient en fait de plus en plus glissante. En second lieu, l'un des facteurs qui font l'objet des plus grandes préoccupations est le phénomène de l'hydroplanage, suivant lequel les pneus de l'avion sont, dans une large mesure, séparés de la surface de la piste par une mince pellicule liquide. Dans ces conditions, le coefficient de frottement tombe à des valeurs presque négligeables et le freinage des roues, de même que la manœuvre de la roue avant, deviennent par conséquent pratiquement inefficaces. On trouvera ci-dessous une description des trois principaux types d'hydroplanage actuellement connus. D'autres éléments indicatifs sur l'épaisseur de la nappe d'eau et son influence sur l'hydroplanage figurent en 2.1.

1.5.8 La réduction du coefficient de frottement qui se manifeste lorsque la surface est mouillée et lorsque la vitesse de l'avion augmente s'explique par l'effet combiné des pressions visqueuse et dynamique de l'eau dans la zone de contact entre le pneu et la surface. Cette pression provoque une perte partielle du contact «à sec», perte qui tend à augmenter avec la vitesse. Dans certaines conditions, la perte de contact est pratiquement totale et le coefficient de frottement devient négligeable. Suivant les circonstances on désigne ce phénomène sous le nom d'hydroplanage visqueux, d'hydroplanage dynamique ou d'hydroplanage accompagné de dévulcanisation. L'effet sur les différentes zones de contact entre le pneu et la surface et les changements de dimensions de ces zones en fonction de la vitesse sont représentés sur la Figure 1-3 qui est fondée sur le principe des trois zones proposé par Gough. Dans la Zone 1 (zone de pression dynamique) et dans la Zone 2 (zone de pression visqueuse), le frottement est pratiquement nul, alors que la Zone 3 peut être considérée comme une zone de frottement à sec. La surface de cette zone diminuera graduellement à mesure qu'augmentera la vitesse, et le coefficient de frottement  $\mu$  diminuera dans la même proportion. On peut admettre que l'importance relative des zones sera la même pour deux roues tournant à la même fraction de leur vitesse d'hydroplanage.

1.5.9 Dans le cas de l'hydroplanage visqueux, la perte d'adhérence peut se produire à des vitesses relativement faibles

en raison de la viscosité de l'eau qui fait que celle-ci reste emprisonnée entre la piste et la semelle du pneu. Il faut toutefois que la surface de la piste soit exceptionnellement lisse, ce qui peut être le cas des zones recouvertes d'une épaisse couche de caoutchouc déposée par les pneus lors du toucher des roues ou rendues lisses sous l'effet de la circulation. L'hydroplanage visqueux est typique des pistes humides ou mouillées ou des pistes recouvertes de glace mouillée et, une fois amorcé, il peut persister jusqu'à de très faibles vitesses. L'hydroplanage visqueux peut se produire au freinage, que ce soit lors d'un décollage interrompu, ou pendant le roulage à l'atterrissage.

1.5.10 L'hydroplanage dynamique se produit au-delà d'une vitesse critique qui est fonction de la pression de gonflage des pneus. Ce type d'hydroplanage est dû à l'inertie de l'eau: la pression dirigée vers le bas (pression de gonflage du pneu) est insuffisante pour chasser l'eau qui s'interpose entre la piste et le pneu pendant la brève période où elle s'exerce. L'hydroplanage dynamique peut se produire sur une piste présentant une macrotexture insuffisante si la vitesse est supérieure à la vitesse critique d'hydroplanage et si la couche liquide est suffisamment épaisse. Il est associé à la présence d'une couche liquide d'épaisseur mesurable sur la piste et il se produit à une vitesse critique qui est fonction directe de la pression de gonflage des pneus. Plus grande sera cette pression, plus élevée sera la vitesse à laquelle se produira l'hydroplanage dynamique. Toutefois, cet avantage est compensé par le fait que le coefficient de frottement sur piste mouillée est d'autant plus faible, que la pression du pneu est élevée, tant que la vitesse est inférieure à la vitesse d'hydroplanage. L'hydroplanage dynamique se manifeste aux vitesses les plus élevées atteintes lors du roulement à l'atterrissage et au décollage. On a constaté qu'il suffit d'une nappe d'eau stagnante de 0,5 mm pour qu'il se produise. Cette épaisseur relativement faible peut être atteinte au cours d'une forte averse, ou dans des flaques d'eau causées par des irrégularités de la surface.

1.5.11 Le phénomène de dévulcanisation du caoutchouc est encore mal connu mais on pense à l'heure actuelle que la vapeur surchauffée se forme entre la semelle du pneu et la surface de la piste à des températures voisines de 200 °C et fait fondre le caoutchouc de la bande de roulement du pneu. Une théorie veut que le caoutchouc fondu agisse comme un joint qui empêche la vapeur à haute pression de s'échapper. À la suite d'incidents au cours desquels on a constaté l'existence de ce phénomène, on a observé à la surface de la piste des traces blanches caractéristiques du «nettoyage à la vapeur». L'hydroplanage accompagné de dévulcanisation du caoutchouc peut se produire dans tous les cas et à toutes les vitesses où une roue (freinée ou non) reste bloquée pendant une période de temps prolongée. Il semble que, dans ce cas, la mesure préventive la plus importante consiste à éviter le blocage de la roue. L'Appendice 1 présente d'autres éléments sur la théorie de l'hydroplanage dynamique visqueux.

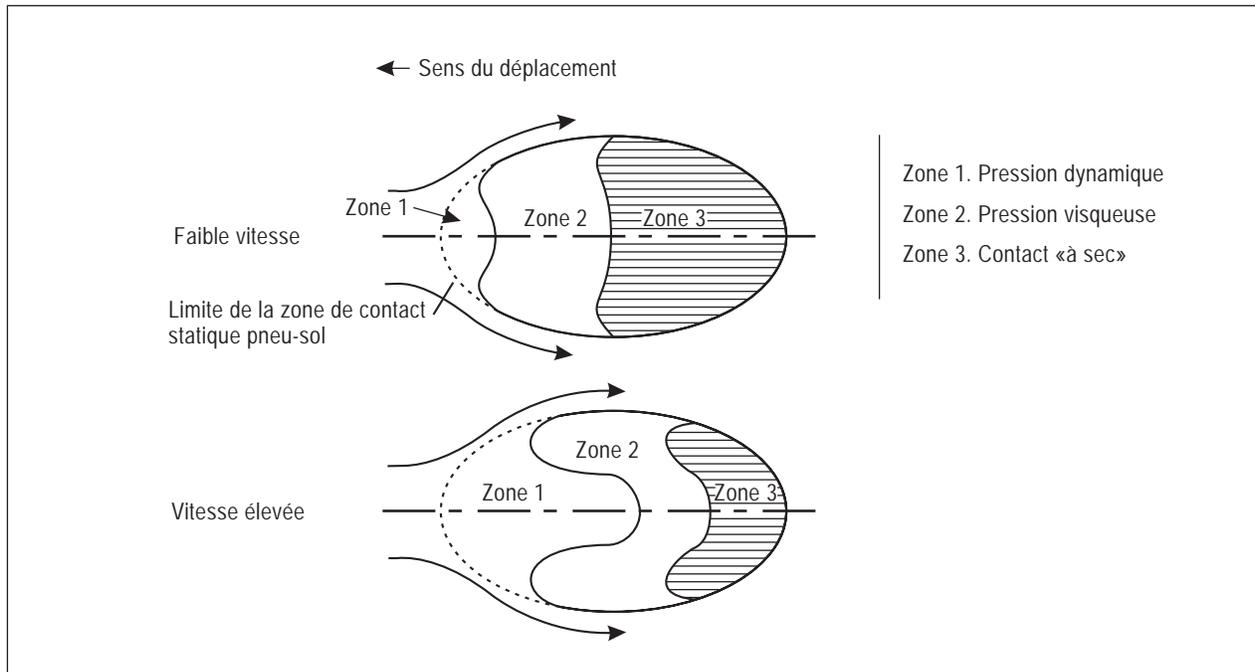


Figure 1-3. Zones de contact entre le pneu et la surface

### Coefficient de frottement

1.5.12 Le coefficient de frottement est défini comme étant égal au rapport entre la force tangentielle nécessaire pour maintenir un mouvement relatif uniforme entre deux surfaces en contact (entre les pneus de l'avion et la surface de la chaussée) et la force perpendiculaire qui les maintient en contact (poids de l'avion réparti sur la surface de contact du pneu). Le coefficient de frottement est souvent indiqué par la lettre grecque  $\mu$ . Il s'agit d'un moyen simple de quantifier la glissance relative des surfaces de chaussée.

### Efficacité du dispositif de freinage

1.5.13 Les dispositifs modernes de freinage antidérapants sont conçus pour fonctionner aussi près que possible de la valeur de  $\mu$  correspondant au frottement maximal ( $\mu_{\max}$ ). Toutefois, l'efficacité de freinage ne fournit généralement qu'un pourcentage de cette valeur maximale. Cette efficacité tend à augmenter avec la vitesse, les essais effectués avec un dispositif de type ancien sur une surface mouillée ayant donné des valeurs de 70 % à 56 km/h (30 kt) et de près de 80 % à 222 km/h (120 kt). Des valeurs encore plus élevées ont été observées avec des dispositifs plus modernes.

En ce qui concerne les dispositifs antidérapants utilisés sur un grand nombre d'avions de transport, il a été empiriquement établi que le coefficient d'efficacité de freinage ( $\mu_{\text{eff}}$ ) était égal à :

$$\begin{aligned} \mu_{\text{eff}} &= 0,2 \mu_{\max} + 0,7 \mu_{\max}^2 \text{ pour } \mu_{\max} < 0,7 \text{ et} \\ \mu_{\text{eff}} &= 0,7 \mu_{\max} \text{ pour } \mu_{\max} \geq 0,7 \end{aligned}$$

### Résistance au roulement

1.5.14 La résistance au roulement est la traînée causée par la déformation élastique du pneu et d'une surface flexible de support. Dans le cas d'un pneu d'avion conventionnel, à plis croisés, elle correspond approximativement à 0,02 fois la charge verticale exercée sur le pneu. Pour que le pneu tourne, le coefficient de frottement de roulement doit être inférieur au coefficient de frottement entre le pneu et la piste.

### Courbes frottement/vitesse

1.5.15 L'eau est un des meilleurs lubrifiants pour le caoutchouc, et le déplacement de l'eau ainsi que la pénétration de minces pellicules d'eau dans la zone de contact du pneu demandent un certain temps. Les possibilités d'écoulement de

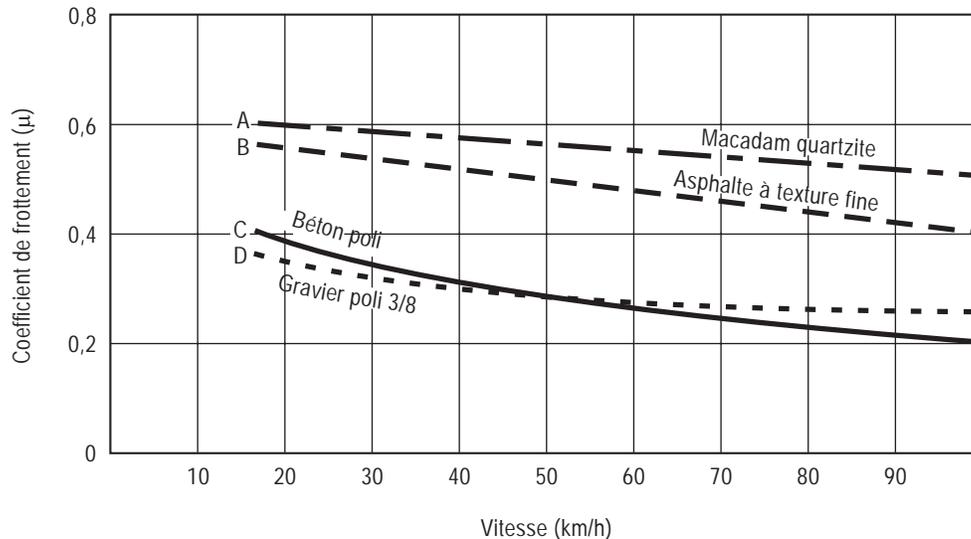
l'eau dans la zone de contact du pneu sont affectées par un certain nombre de facteurs. Si la piste a une macrotexture poreuse permettant à l'eau de s'échapper sans causer une augmentation appréciable de pression, la valeur du frottement sera moins affectée par la vitesse. En revanche, dans le cas d'une surface à macrotexture compacte, on notera une chute plus importante du frottement avec l'augmentation de la vitesse. La rugosité de la texture (microtexture) constitue un autre paramètre essentiel qui détermine le niveau de frottement d'une surface, comme le montre la Figure 1-4.

1.5.16 À mesure que la vitesse augmente, les coefficients de frottement des deux surfaces à texture poreuse A et D diminuent légèrement, tandis que ceux des surfaces B et C diminuent d'une façon plus sensible. Cela porte à croire que la pente de la courbe «frottement/vitesse» dépend principalement de la macrotexture. La valeur du coefficient de frottement dépend surtout de la rugosité des aspérités de la surface, cette dernière ayant une microtexture rugueuse dans les cas A et B, et lisse dans les cas C et D. C'est pour cette raison que, du point de vue du frottement, les surfaces de piste devraient avoir une texture poreuse et rugueuse. Un graphique frottement/vitesse

donne une indication de l'effet de la vitesse sur les valeurs du coefficient de frottement sur les surfaces mouillées, en particulier si ce graphique comprend des vitesses élevées, c'est-à-dire d'environ 130 km/h (70 kt) et plus.

### Texture superficielle

1.5.17 Le coefficient de frottement de la texture superficielle entre le pneu et la piste dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la vitesse, la texture superficielle, la nature et l'épaisseur des dépôts sur la piste, la composition des pneus, leur structure, leurs sculptures, leur température à la surface, leur usure et leur pression de gonflage, l'efficacité du dispositif de freinage, le couple de freinage, le taux de glissement des roues et la saison de l'année. Certains de ces facteurs exercent des effets les uns sur les autres et ils n'ont pas tous la même importance. Toutefois, la microtexture et la macrotexture superficielles de la piste sont les principaux paramètres qui déterminent la valeur du frottement sur piste mouillée, ainsi que la relation frottement/vitesse. L'Appendice 2 contient des renseignements supplémentaires concernant l'influence des caractéristiques de microtexture et de macrotexture superficielles sur le coefficient de frottement d'un pneu.



**Figure 1-4. Relation entre la vitesse et le coefficient de frottement obtenu avec des dispositifs de freinage antidérapants sur des surfaces mouillées de textures différentes dans certaines conditions d'exploitation**

## Chapitre 2

### Évaluation des facteurs fondamentaux qui influent sur le frottement

#### 2.1 ÉPAISSEUR DE LA NAPPE D'EAU ET SON INFLUENCE SUR L'HYDROPLANAGE DYNAMIQUE

2.1.1 La vitesse critique à laquelle se produit l'hydroplanage (voir 1.5.7 à 1.5.11) dépend de la manière dont il se définit, comme le montre la Figure 2-1. Si l'on définit la vitesse d'hydroplanage comme le point auquel la courbe traînée due à l'eau/vitesse atteint son maximum, cette valeur ne concordera pas avec la vitesse à laquelle la roue cesse de tourner. En fait, le pilote désire seulement savoir à quel moment le frottement entre le pneu et le sol est insuffisant pour faire tourner la roue, c'est-à-dire pour permettre à cette dernière de vaincre la résistance au roulement, étant donné qu'il ne peut, dès lors, appliquer efficacement les freins. Il est probable qu'il existe encore un certain contact avec le sol à cette vitesse, mais que ce contact est insuffisant pour faire tourner la roue. Quand aucune partie du pneu n'est en contact avec le sol, il est probable que cette vitesse est plus proche de celle à laquelle la traînée de la roue due à la présence de l'eau cesse de croître (sommet de la courbe en trait plein de la Figure 2-1).

2.1.2 L'hydroplanage dynamique commencera à une vitesse en kilomètres/heure (ou en noeuds) approximativement égale à 624 fois (356 fois) la racine carrée de la pression de gonflage du pneu en kPa. Le processus de formation du phénomène n'est pas entièrement connu, même s'il a été observé parfois au cours d'essais de frottement avec un avion doté d'instruments, alors que le coefficient de frottement mesuré était de  $\mu = 0,05$ , avec freins appliqués. L'enregistrement de la vitesse de la roue a indiqué que le frottement était alors insuffisant pour faire tourner la roue chaque fois que le frein automatique la ralentissait.

2.1.3 Un autre point important est le fait que, lorsqu'il y a eu hydroplanage, la vitesse sol doit être réduite bien en dessous de la vitesse d'hydroplanage avant que la roue ne recommence à tourner. Ce phénomène est clairement indiqué dans les essais effectués par l'Université de Bristol avec une roue de 23 cm (Figure 2-2).

2.1.4 On notera que, pour une pression de 206,8 kPa et une charge de 90 kg, l'hydroplanage se déclenche à une vitesse

d'environ 23 m/s mais que le pneu ne revient à la vitesse sol que lorsque celle-ci est réduite à 9 m/s. Une modification dans la charge appliquée sur le pneu change également sa vitesse d'hydroplanage si l'on admet que cette dernière est la vitesse à laquelle la roue commence à tourner moins vite. Cette expérience met ainsi en relief le fait qu'un pneu d'avion ne reprendra pas suffisamment contact avec le sol pour assurer un freinage efficace avant d'atteindre une vitesse bien inférieure à la vitesse requise pour amorcer l'hydroplanage.

2.1.5 Il apparaît clairement que l'hydroplanage dynamique ou visqueux ne se produira que s'il y a sur la piste une nappe d'eau d'une épaisseur telle qu'elle ne peut être chassée assez rapidement pour permettre un contact direct entre la surface de la piste et la semelle du pneu. Il s'agit donc d'un problème d'écoulement de l'eau et surtout de microtexture/macrotecture de la piste, les sculptures de la bande de roulement du pneu ne contribuant que relativement peu à l'évacuation de l'eau de la zone de contact. Une bande de roulement convenablement rainurée facilite certes l'écoulement de l'eau, mais l'efficacité des rainures diminue lorsque l'usure atteint les limites tolérées. Il est généralement admis à l'heure actuelle que le risque d'hydroplanage peut être fortement réduit en soignant la microtexture et la macrotecture de la surface de la piste. Cet aspect de la question est traité dans le *Manuel de conception des aérodromes* (Doc 9157), 3<sup>e</sup> Partie — *Chaussées*.

2.1.6 Afin de déterminer de quelle manière l'épaisseur d'eau nécessaire pour qu'il y ait hydroplanage varie avec la texture de la surface, le College of Aeronautics du Royaume-Uni a procédé à des essais d'évaluation des caractéristiques d'hydroplanage sur des surfaces en béton brossé (non pas peigné) et en béton strié. En formant des mares sur le passage prévu des roues et en utilisant un dispositif de mesure installé sur la piste, il a été possible de déterminer la hauteur au-dessus de la piste d'un pneu en cours d'hydroplanage. La Figure 2-3 a été réalisée en reportant l'épaisseur de la nappe d'eau au-dessus de l'indicateur en regard de la hauteur du pneu au-dessus de la piste.

2.1.7 On constate que, lorsque l'hydroplanage est amorcé (ce qui peut se produire dans une flaque), le pneu ne reprendra pas contact avec la piste dans plus de 0,6 mm d'eau si la surface est en béton brossé et la pression de gonflage de 827 kPa. Plus

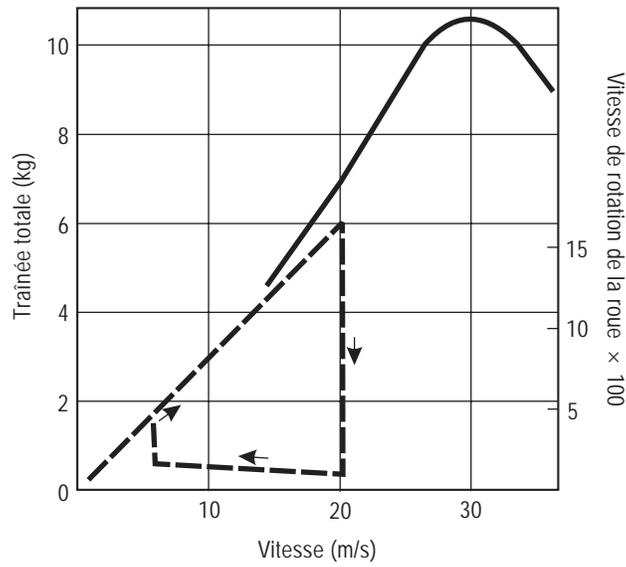


Figure 2-1. Variation de la traînée totale d'un pneu de faible diamètre en fonction de la vitesse de rotation de la roue et de la vitesse de l'avion

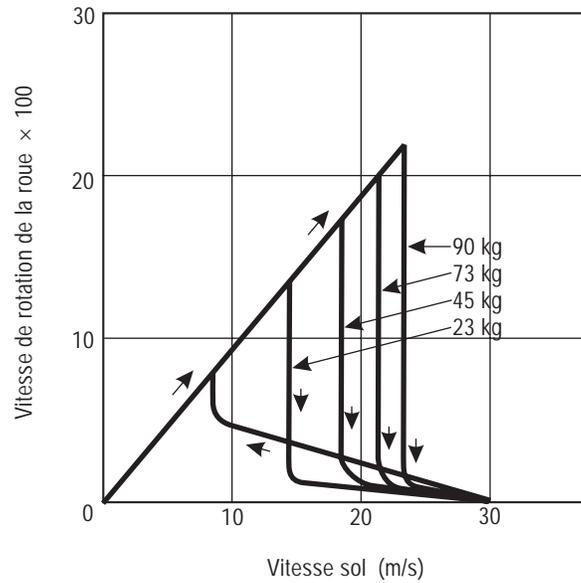
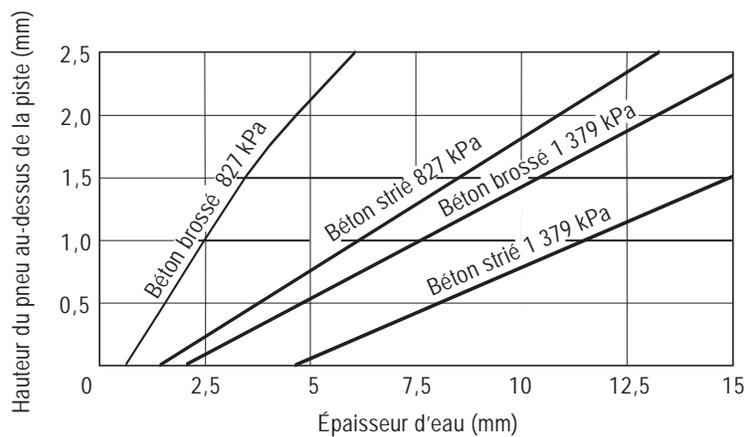


Figure 2-2. Variation de la vitesse de rotation de la roue avec la vitesse sol et la charge



**Figure 2-3. Hauteur d'un pneu au-dessus d'une piste pour différentes épaisseurs d'eau, différentes textures de la surface et différentes pressions de gonflage à une vitesse supérieure à la vitesse d'hydroplanage**

la pression de gonflage du pneu est élevée, plus la nappe d'eau doit être épaisse pour entretenir l'hydroplanage. En outre, plus la macrotexture de la surface est grossière, plus la nappe d'eau doit être épaisse. Ces essais ont également révélé que l'hydroplanage peut commencer quelques millièmes de seconde après que les roues ont atteint l'épaisseur critique de la nappe d'eau. Un bon drainage et une texture appropriée sont des conditions essentielles pour réduire au minimum le risque d'hydroplanage et pour améliorer en général les caractéristiques de frottement sur piste mouillée.

2.1.8 Étant donné que l'épaisseur initiale de la nappe d'eau varie suivant la texture de la surface, il est essentiel d'exprimer ces renseignements en termes pratiquement utilisables. Il faut utiliser une méthode ou un dispositif pour définir la texture, ce qui pose, en soi, un problème difficile étant donné que les dimensions, la forme et les caractéristiques angulaires des granulats sont autant de facteurs à considérer. Néanmoins, on étudie actuellement diverses méthodes et techniques de mesure. Des renseignements sur les diverses méthodes et techniques en usage sont donnés en 2.3.

2.1.9 À l'heure actuelle, il semble que rares sont les États qui transmettent des renseignements sur l'épaisseur de l'eau sur les pistes bien que, dans certains États utilisant le système des pistes préférentielles, la pratique consiste, lorsque les pistes sont mouillées, à faire atterrir les avions sur une piste plus longue ou sur une piste où le vent traversier est moins fort.

2.1.10 On a cherché à déterminer si la mesure de l'épaisseur d'eau ne pourrait remplacer la mesure du coefficient de frottement sur une piste. À cette fin, une étude a été effectuée dans le but d'établir une liste des spécifications auxquelles

devraient répondre les dispositifs de mesure de l'épaisseur d'eau. Il en est ressorti que ces dispositifs devraient notamment être précis, faciles à utiliser, d'un fonctionnement rapide et qu'ils devraient permettre de mesurer l'épaisseur d'une nappe d'eau pouvant atteindre 10 mm. De plus, le temps d'occupation de la piste doit être minimal et les lectures ne devraient pas être influencées par la concentration de sel à la surface de l'eau. Aucun des dispositifs connus qui sont utilisés par les États ne semble remplir ces conditions, bien que l'un d'entre eux, au moins, soit considéré comme répondant aux conditions à des fins de recherche. Même si elle est possible, la mise au point d'un dispositif répondant à toutes les conditions précitées ne serait pas très utile; il vaudrait mieux mettre au point des programmes visant à améliorer la texture superficielle et le drainage des pistes plutôt que de mesurer l'épaisseur d'eau. Ces dispositifs ne pourraient se justifier, dans une certaine mesure, que dans de rares cas de pluie excessivement forte. En supposant la mise au point d'un dispositif qui réponde aux conditions spécifiées, une autre difficulté importante semble résider dans le nombre et l'emplacement des dispositifs nécessaires pour une piste. Compte tenu de ce qui précède, on n'a pas jugé réaliste de normaliser les dispositifs de mesure de l'épaisseur d'eau utilisés pour déterminer le coefficient de frottement sur une piste.

2.1.11 *Autres considérations.* L'épaisseur de la nappe liquide ne représente, bien entendu, que l'un des facteurs à considérer. La densité et la viscosité du fluide, quelle que soit l'épaisseur de cette nappe, sont parmi les facteurs les plus importants. Pour une épaisseur mesurable donnée, il y a lieu de tenir compte de la densité et de la viscosité du fluide, de la texture de la piste, du dessin et de l'usure de la bande de roulement des pneus et de la présence de dépôts sur la piste avant de pouvoir évaluer une application quelconque sur le plan opérationnel.

## 2.2 DÉPÔTS À LA SURFACE

2.2.1 La présence de dépôts à l'état liquide ou semi-liquide (neige mouillée, neige fondante ou eau stagnante) sur les pistes peut avoir un effet critique sur l'exploitation des avions. Des variations dans la nature des dépôts et l'effet critique de leur épaisseur ont rendu difficile l'évaluation de la traînée due aux résidus de précipitation. Les mesures à prendre en exploitation pour les décollages effectués sur des pistes recouvertes de neige fondante ou d'eau sont présentées dans le *Manuel de navigabilité* (Doc 9760)\*.

2.2.2 Outre l'existence de coefficients de frottement dangereusement bas et les effets néfastes de l'hydroplanage, il faut tenir compte, lors de l'utilisation des pistes recouvertes d'une épaisseur mesurable de fluide, de l'effet de résistance que l'on a appelé «traînée due aux résidus de précipitation». D'une manière plus précise, l'étude de cette traînée peut être divisée en trois parties:

- a) traînée due au déplacement du fluide;
- b) caractéristiques de ralentissement de la roue;
- c) caractéristiques des projections provenant des roues et traînée due au choc de ces projections. Si l'on se base sur les essais d'avion et sur des essais de roulement au sol, les niveaux de traînée due aux résidus de précipitation qui ont été atteints sont fonction directe des variables suivantes et de leur combinaison, à savoir le carré de la vitesse sol, la charge verticale, la pression de gonflage des pneus, la densité du fluide, l'épaisseur de la couche et l'emplacement des roues.

2.2.3 Lorsqu'un pneu non freiné roule sur une piste recouverte d'un fluide, le pneu entre en contact avec le fluide stagnant sur la piste et le déplace. La modification qui en résulte dans la quantité de mouvement du fluide donne naissance à des pressions hydrodynamiques qui réagissent sur la surface du pneu et celle de la piste. La composante horizontale de la pression hydrodynamique résultante est appelée «traînée due au déplacement du fluide» ou force tendant à retarder le mouvement vers l'avant. La composante verticale de cette réaction est appelée «portance due au déplacement du fluide» ou force de réaction faisant intervenir les possibilités d'hydroplanage dynamique et les tendances de la roue au ralentissement. La «traînée due aux projections du fluide» et la «portance due aux projections du fluide» sont des forces supplémentaires qui réagissent au mouvement vers l'avant et sont créées sur l'avion lorsqu'une partie du fluide déplacé frappe ensuite sous forme de projections d'autres parties de l'avion, telles que les pneus, le train d'atterrissage, les dispositifs hypersustentateurs et les réacteurs montés à l'arrière.

2.2.4 La traînée due au déplacement du fluide revêt une importance critique pour les caractéristiques d'accélération de

l'avion. Les effets de cette traînée sont observés également au cours de la décélération; cependant, les avantages du ralentissement au cours de la décélération sont largement compensés par la réduction générale du coefficient de frottement et le risque d'hydroplanage.

2.2.5 La traînée due à la présence de résidus de précipitation à la surface des chaussées est surtout gênante au décollage. Compte tenu du fait qu'elle augmente avec le carré de la vitesse, il est possible d'atteindre une vitesse critique à laquelle la traînée due aux résidus de précipitation est égale à la poussée. Si la vitesse de l'avion est alors inférieure à la vitesse de décollage, il ne quittera jamais le sol. Outre la vitesse, la traînée due aux résidus de précipitation variera en même temps que l'épaisseur et la densité de la couche fluide. Étant donné que ces deux facteurs, en particulier le premier, peuvent varier tout au long d'une piste, on conçoit qu'il s'agit d'un problème complexe. De plus, le fait que la traînée due aux résidus de précipitation se divise en deux parties essentielles: la traînée due au déplacement des résidus de précipitation par les roues et la traînée qui résulte du choc contre l'avion des matériaux projetés par les roues, signifie que la traînée totale variera suivant les différents types d'avion.

2.2.6 Une méthode consiste à mesurer l'épaisseur de la couche en un grand nombre de points avec une règle ou un autre dispositif et à faire la moyenne de ces mesures. Cette méthode serait satisfaisante si l'épaisseur de la couche était relativement uniforme mais il en est rarement ainsi dans la pratique.

2.2.7 Le pilote connaît l'épaisseur des diverses formes de précipitation au-delà de laquelle il n'est pas autorisé à décoller, et des comptes rendus sur l'état de la piste devront lui être fournis pour chaque tiers de la piste, étant entendu que les chiffres correspondant au deuxième ou au troisième tiers seront les plus importants.

## 2.3 TEXTURE SUPERFICIELLE

2.3.1 On considère que la texture superficielle est la cause principale des différences qui existent dans le coefficient de frottement des pistes mouillées. La surface des pistes se caractérise par sa macrotecture et sa microtecture. La macrotecture est la texture grossière due au granulat utilisé ou une texture produite artificiellement, par exemple par rainurage. Elle peut être mesurée par un certain nombre de méthodes et c'est elle qui assure l'écoulement de la plus grande partie de l'eau qui se trouve à la surface. Par contre, la microtecture est la texture des particules qui composent le granulat; elle peut être évaluée au toucher mais non mesurée. Cette dernière est importante car ce sont ces microaspérités qui percent les pellicules d'eau très minces. Ainsi, la

\* En préparation.

macrotecture sert principalement à accélérer l'écoulement de la plus grande partie de l'eau, réduisant de la sorte la tendance à l'hydroplanage dynamique, alors que la microtexture est extrêmement importante pour réduire le risque d'hydroplanage visqueux associé aux pellicules d'eau très minces. Étant donné que la macrotecture et la microtexture ont toutes deux des effets importants sur le coefficient de frottement sur piste mouillée, on peut dire que la mesure de la macrotecture ne permet à elle seule que de dégager des tendances générales. Les données disponibles indiquent que, de façon générale, une macrotecture très marquée tend à augmenter le coefficient de frottement sur piste mouillée.

2.3.2 L'Annexe 14, Volume I, recommande que la profondeur moyenne de la macrotecture superficielle d'une surface neuve soit au moins égale à 1 mm pour offrir de bonnes caractéristiques de frottement lorsque la piste est mouillée. Bien qu'une profondeur inférieure à 1 mm puisse assurer un bon drainage, il faudrait, lors de la construction d'une surface neuve, choisir une profondeur supérieure à la valeur minimale, étant donné que l'utilisation normale de la chaussée produira une détérioration de la surface. Si une certaine marge n'est pas prévue lors de la construction, il faudra effectuer des travaux d'entretien assez rapidement.

2.3.3 Il est par conséquent logique d'appliquer une technique qui complète les indications de la courbe frottement/vitesse d'une surface par la mesure de la macrotecture superficielle. Afin d'obtenir la profondeur moyenne de la macrotecture, il faudrait prélever des échantillons représentatifs sur la surface entière. Le nombre d'échantillons nécessaires dépendra des variations de la macrotecture superficielle. À cette fin, il est souhaitable de procéder à une inspection visuelle de la surface, en vue de déceler les variations appréciables que peut présenter le revêtement, avant de procéder à des mesures.

2.3.4 Il est généralement reconnu que les techniques les plus appropriées pour mesurer la profondeur de la macrotecture superficielle sont les méthodes d'étalement de couches de graisse ou de sable. Les deux méthodes précitées et d'autres méthodes pouvant être utilisées pour mesurer la profondeur moyenne de la texture sont décrites ci-après.

#### **Méthodes d'étalement de couches de graisse ou de sable**

2.3.5 Un volume connu de graisse ou de particules de sable de dimensions connues est répandu sur la surface jusqu'à ce que toutes les cavités soient remplies. Si l'on divise alors le volume connu par la surface couverte, on peut déterminer la profondeur moyenne des cavités. On peut escompter qu'une mesure de ce type indique seulement l'effet de la vitesse sur la courbe frottement/vitesse, ce que l'expérience a d'ailleurs confirmé (voir 1.5.15).

2.3.6 On trouvera ci-après des exemples des méthodes de mesure par étalement de couches de graisse ou de sable.

### **Exemple 1 — MÉTHODE D'ÉTALEMENT DE COUCHES DE GRAISSE**

#### **A. Matériel nécessaire**

1. Cylindre métallique ouvert aux deux extrémités et ayant un volume interne d'environ 16 000 mm<sup>3</sup>. Le volume réel n'est pas d'une importance capitale, à condition qu'on le connaisse avec précision. Le cylindre pourrait avoir les dimensions suivantes: diamètre intérieur, 25,4 mm; longueur, 32,3 mm.
2. Couteau à palette.
3. Plongeur bien ajusté et tige pour expulser la graisse du cylindre.
4. Racloir d'aluminium ou de bois avec face de caoutchouc, d'une largeur de 30 mm à 40 mm.
5. Ruban à masquer.

#### **B. Méthode d'essai**

1. Remplir le cylindre d'une graisse d'usage général en utilisant le couteau à palette de manière à chasser tout l'air et à aplanir les extrémités. Placer deux bandes parallèles de ruban à masquer sur la surface de la piste à environ 10 cm l'une de l'autre puis une troisième à l'extrémité des deux premières et perpendiculairement à celles-ci. Au moyen du plongeur, expulser la graisse du cylindre sur la zone d'essai et l'étaler en remplissant toutes les cavités jusqu'au niveau du sommet des aspérités, sur une surface rectangulaire entre les bandes parallèles du ruban à masquer. Veiller à ne pas laisser de graisse sur les rubans ou sur le racloir.
2. Mesurer le volume du cylindre d'essai et les dimensions de la couche de graisse. L'équation ci-après indique la profondeur moyenne des cavités en mm:

$$\text{Indice de la texture superficielle} = \frac{\text{Volume de graisse (mm}^3\text{)}}{\text{Surface couverte (mm}^2\text{)}}$$

Lorsque l'essai est terminé, enlever la graisse de la surface de la piste.

## Exemple 2 — MÉTHODE D'ÉTALEMENT DE COUCHES DE SABLE

### A. Matériel nécessaire

1. Cylindre métallique d'une longueur interne de 86 mm et d'un diamètre interne de 19 mm.
2. Disque de bois plat d'un diamètre de 64 mm, sur une face duquel est collé un disque de caoutchouc dur d'une épaisseur de 1,5 mm, une poignée étant fixée sur l'autre face.
3. Sable naturel sec dont les particules ont une forme arrondie, passant à travers un tamis de 300 microns, mais retenu par un tamis de 150 microns.

### B. Méthode d'essai

1. Sécher la surface à mesurer et la nettoyer avec un balai à poils doux. Remplir le cylindre de sable, en cognant le fond sur la surface d'essai à trois reprises afin de tasser le sable, puis niveler le sable en haut du cylindre. Verser le sable en un tas sur la surface d'essai. Étaler le sable sur cette surface au moyen du disque maintenu à plat, en lui imprimant un mouvement circulaire de manière que le sable soit étalé en forme de cercle et qu'il remplisse les cavités de la surface jusqu'au niveau du sommet des aspérités.
2. Mesurer le diamètre de la couche de sable à 5 mm près. L'épaisseur de la texture est  $31\,000/D^2$ , D étant le diamètre de la couche exprimé en mm.

2.3.7 Les méthodes ci-après sont également utilisées pour mesurer la macrotexture superficielle.

- a) *Mesure directe sur la chaussée.* On mesure la longueur réelle d'une ligne tracée sur cette surface.
- b) *Méthode stéréophotographique.* On photographie une partie de la surface au moyen d'un appareil stéréophotographique spécialement conçu. D'après les contours ainsi déterminés, on dessine un profil dont on mesure la longueur.
- c) *Méthode du conformateur.* Une rangée de petites tiges fines (aiguilles) d'une longueur de 0,30 m, tenues verticales par deux supports, est placée sur la chaussée. Lorsque le serrage des supports est relâché, les pointes de toutes les aiguilles viennent toucher la partie supérieure de la chaussée et indiquent un profil de la surface dont on peut mesurer la longueur.

- d) *Méthode du moule.* On fait un moule de la surface en matériau durcissant (plasticine). Après avoir scié ce moule, on mesure la longueur du profil.
- e) *Méthode du papier carbone.* Au moyen de papier carbone, on imprime sur du papier la surface d'une partie de la chaussée. On mesure alors la longueur d'un profil construit d'après cette copie.
- f) *Mesure de l'écoulement de l'eau.* On détermine la quantité d'eau qui s'écoule, pendant un temps donné, du fond d'un cylindre plat placé sur la chaussée (perte de hauteur).

2.3.8 Ces mesures permettent d'obtenir une indication approchée de la rugosité de la surface. La mesure du volume fournit cette indication d'après la surface lissée de sable ou de graisse. Le quotient du volume de matériau lissé divisé par sa superficie est appelé profondeur moyenne de la texture. Le quotient de la longueur d'une ligne mesurée le long du profil d'une section diagonale de la chaussée par la longueur d'une ligne de base donne ce que l'on appelle le coefficient de profil. On cherche à savoir si une corrélation ne pourrait pas exister entre le coefficient de profil et la diminution de l'effet de rugosité mais l'on n'est parvenu à aucune conclusion à cet égard. On a déjà établi que ce coefficient est supérieur à 1,05 dans le cas des surfaces rugueuses.

2.3.9 Il est également important que le granulat minéral utilisé pour la construction du revêtement soit examiné en laboratoire en ce qui concerne sa résistance au polissage, avant d'être utilisé. En outre, il devrait être analysé en ce qui concerne sa résistance à l'effritement et à l'éclatement sous l'action de la circulation. La question de la texture superficielle des pistes est étudiée en détail dans le *Manuel de conception des aéroports* (Doc 9157), 3<sup>e</sup> Partie — *Chaussées*.

### *Mesure de la microtexture superficielle*

2.3.10 Il n'existe toujours pas de mesure directe permettant de définir en termes techniques la microrugosité que doit posséder le granulat. Il faut toutefois insister sur l'importance d'une bonne microtexture, car une microtexture de qualité inférieure serait préjudiciable aux caractéristiques de frottement de la surface des pistes. Contrairement à la macrotexture superficielle, la microtexture peut se détériorer assez rapidement sous l'effet de la circulation et des intempéries.

## 2.4 IRRÉGULARITÉS DE LA SURFACE

Bien que les constructeurs s'efforcent de réaliser des pistes à surface aussi plane que possible et avec une pente latérale convenable, le tassement des couches inférieures de la piste, qui

se produit par la suite, peut causer des changements de profil et des irrégularités. Ces irrégularités apparaissent nettement après la pluie lorsque des flaques d'eau subsistent après le séchage de la piste. Il y a lieu de remédier à la situation lorsque les flaques d'eau ont une épaisseur supérieure à l'épaisseur critique d'hydroplanage (environ 3 mm), étant donné qu'une fois amorcé, le phénomène peut se poursuivre sur une piste mouillée recouverte d'une pellicule d'eau beaucoup plus mince. En outre,

lorsque la température est inférieure au point de congélation, ces flaques se transformeront en plaques de glace qui peuvent causer des difficultés considérables pour l'exploitation. Il se pourrait aussi que la présence de ces flaques provoque l'ingestion d'une trop grande quantité d'eau par les réacteurs d'un avion, causant ainsi leur extinction. En général le problème posé par les flaques d'eau ne pourra être résolu qu'en procédant à la réfection de la surface.

---



## Chapitre 3

# Mesure et forme d'expression des caractéristiques de frottement sur les surfaces en dur mouillées

### 3.1 GÉNÉRALITÉS

3.1.1 Il est nécessaire pour l'exploitation de disposer de renseignements sur les pistes en dur qui peuvent devenir glissantes lorsqu'elles sont mouillées. À cette fin, il faut mesurer périodiquement les caractéristiques de frottement de la surface d'une piste en dur afin de s'assurer qu'elles ne se sont pas dégradées au-delà d'un minimum convenu. On peut obtenir une indication des caractéristiques de frottement d'une piste mouillée en dur en utilisant des dispositifs de mesure du frottement; cependant, il est nécessaire d'acquérir une plus grande expérience dans ce domaine afin d'établir une corrélation entre les résultats obtenus au moyen de ces dispositifs et les performances de freinage des avions, étant donné les nombreuses variables à considérer, comme la température de la piste, la pression de gonflage des pneus, la vitesse d'essai, le mode d'exécution (roue bloquée, freinage avec glissement), l'efficacité du dispositif antidérapant, la vitesse de mesure et l'épaisseur de la couche d'eau.

3.1.2 La mesure du coefficient de frottement s'est révélée la meilleure base pour déterminer les conditions de frottement à la surface. Cette valeur du coefficient de frottement de surface doit être la valeur maximale du frottement qui se produit lorsqu'une roue est freinée à un taux de glissement spécifié, sans être bloquée. On peut utiliser différentes méthodes pour mesurer le coefficient de frottement. Les conditions d'exploitation détermineront en général la meilleure méthode à utiliser à un aéroport donné. Étant donné que l'exploitation exige l'application d'une méthode uniforme pour évaluer les caractéristiques de frottement d'une piste, il est recommandé d'utiliser de préférence des dispositifs qui mesurent de façon continue le coefficient maximal de frottement (taux de glissement compris entre 10 et 20 %) sur toute la longueur de la piste.

3.1.3 La technologie actuelle ne permet pas d'établir une corrélation directe et immédiate entre les mesures du frottement à la surface de la piste, effectuées avec un dispositif de mesure de frottement et les performances de freinage des avions sur piste mouillée. On a toutefois constaté que les caractéristiques de frottement sur piste mouillée demeurent relativement constantes et se détériorent lentement sur de longues périodes, selon la fréquence d'utilisation de la piste. Cette constatation est

importante parce qu'elle dispense de mesurer continuellement les caractéristiques de frottement d'une piste mouillée. Des comparaisons expérimentales ont montré que, s'il n'existe aucune corrélation directe, on peut toutefois établir une relation indirecte entre les mesures obtenues au moyen de dispositifs de frottement et les performances réelles de freinage d'un avion en présence de conditions semblables à la surface d'une piste. En procédant à de nombreux essais, à plusieurs vitesses, sur des chaussées qui présentaient différents types de microtexture ou macrotexture superficielles, il a également été constaté que les dispositifs de mesure du frottement permettent à l'autorité aéroportuaire de faire la distinction entre des surfaces de piste qui possèdent de bonnes caractéristiques de frottement et des surfaces qui présentent des caractéristiques médiocres. Il a donc été conclu qu'au lieu de communiquer systématiquement les caractéristiques de frottement d'une piste mouillée, on peut mesurer périodiquement les caractéristiques de frottement sur la piste afin de s'assurer qu'elles sont admissibles.

3.1.4 La mesure périodique vise deux objectifs. En premier lieu, elle sert à identifier les pistes qui n'assurent pas un freinage suffisant, et ces emplacements devraient être portés à la connaissance des pilotes. En second lieu, les autorités aéroportuaires disposent ainsi de renseignements qualitatifs sur l'état de leurs surfaces de pistes, ce qui leur permettra de mettre au point des programmes d'entretien d'un caractère plus objectif et de justifier l'établissement de budgets.

3.1.5 L'idéal serait que la distinction entre bonnes et mauvaises caractéristiques de frottement à la surface d'une piste mouillée soit établie en fonction des critères retenus pour la certification des avions. Pour le moment, toutefois, il n'existe pas d'accord international concernant la certification des avions sur piste mouillée. Néanmoins, un certain nombre d'États ont acquis une expérience en exploitation de l'utilisation de dispositifs particuliers de mesure du frottement, ce qui leur permet d'entreprendre des programmes visant à identifier les pistes dont la surface présente, lorsqu'elle est mouillée, de mauvaises caractéristiques de frottement. D'autres États pourront avantageusement tirer parti de cette expérience pour établir leurs propres programmes et, si de tels programmes risquent d'être théoriquement imprécis dans leur relation avec les performances des avions, ils sont néanmoins considérés comme valables pour

établir la distinction entre de bonnes et de mauvaises caractéristiques de frottement.

3.1.6 Les critères utilisés par un État pour évaluer les surfaces de piste devraient être diffusés dans la publication d'information aéronautique (AIP) de cet État. Lorsqu'il est constaté qu'une surface de piste ne répond pas aux critères, un NOTAM devrait être diffusé jusqu'à ce que des mesures correctives soient prises.

3.1.7 Il est souhaitable, en outre, de mesurer les caractéristiques de frottement en fonction de la vitesse sur une piste neuve ou remise en état afin de vérifier si l'objectif visé a bien été atteint. Ces mesures devraient être effectuées à l'aide d'un dispositif de mesure du frottement utilisant un système automouillant à deux ou plusieurs vitesses différentes. Une valeur moyenne devrait être obtenue, à chaque vitesse d'essai, pour toute la longueur de la piste, lorsque celle-ci est mouillée et propre. À cette fin, des dispositifs de mesure du frottement qui évaluent de façon continue les caractéristiques de frottement d'une piste sont préférables aux dispositifs qui n'assurent que des mesures ponctuelles, ces dernières risquant en effet de prêter à confusion. On considère que ces renseignements sont précieux pour l'exploitation car ils donnent une indication générale des caractéristiques du frottement superficiel sur la partie centrale, relativement longue, de la piste qui n'est pas affectée par les dépôts de caoutchouc.

### 3.2 MESURE

3.2.1 Il est nécessaire de mesurer le coefficient de frottement sur une piste mouillée en dur pour les raisons ci-après:

- a) vérifier les caractéristiques de frottement des pistes en dur nouvelles ou remises en état;
- b) évaluer la glissance des pistes en dur;
- c) déterminer l'effet produit sur le frottement lorsque les caractéristiques d'écoulement sont insuffisantes;
- d) déterminer le frottement des pistes en dur qui deviennent glissantes dans des conditions inhabituelles.

3.2.2 Des mesures devraient être faites sur les pistes lors de leur construction ou après la réfection de leur surface pour déterminer leurs caractéristiques de frottement «piste mouillée». Bien qu'il soit reconnu que les caractéristiques de frottement diminuent en fonction de l'utilisation, cette valeur représentera le frottement de la partie centrale de la piste, qui est relativement longue et exempte de dépôts de caoutchouc provenant des pneus

des avions, et elle présente donc un intérêt pour l'exploitation. Les essais d'évaluation devraient être effectués sur des chaussées propres. S'il n'est pas possible de nettoyer une chaussée avant de procéder aux essais, il conviendrait de faire une mesure sur une section propre de la partie centrale de la piste en vue de l'établissement d'un compte rendu préliminaire.

3.2.3 La valeur du frottement devrait être déterminée en calculant la moyenne des résultats des mesures faites à l'aide du dispositif d'essai. Si les caractéristiques de frottement varient de façon appréciable d'une section de la piste à une autre, la valeur du frottement devrait être calculée pour chaque section de la piste. Une section de la piste d'une longueur d'environ 100 m peut être jugée étant suffisante aux fins de détermination de la valeur du frottement.

3.2.4 Des mesures du frottement des chaussées devraient être effectuées périodiquement afin d'identifier les pistes qui ont un faible frottement lorsqu'elles sont mouillées. Chaque État devrait définir le niveau de frottement minimal qu'il juge acceptable, avant de déclarer qu'une piste est glissante lorsqu'elle est mouillée, et indiquer cette valeur dans son AIP. Lorsqu'il est constaté que le frottement d'une piste est inférieur à la valeur publiée, ce renseignement devrait être diffusé dans un NOTAM. L'État devrait également déterminer un niveau de planification de l'entretien au-dessous duquel des mesures correctives appropriées peuvent être envisagées pour améliorer le frottement. Cependant, lorsque les caractéristiques de frottement, soit pour l'ensemble de la piste, soit pour une section de celle-ci, sont inférieures au niveau de frottement minimal, des mesures d'entretien correctives doivent être prises sans retard. Les mesures du frottement devraient être faites à des intervalles qui permettront d'identifier les pistes qui doivent être entretenues ou dont la surface doit faire l'objet d'un traitement spécial avant que la situation devienne grave. La périodicité des mesures dépendra de facteurs tels que les types d'avions et la fréquence des mouvements, les conditions climatiques, le type de chaussée, le nettoyage de la chaussée et les besoins d'entretien.

3.2.5 À des fins d'uniformité et pour permettre la comparaison avec d'autres pistes, il convient de procéder à des évaluations du frottement sur les pistes existantes, neuves ou remises en état, à l'aide d'un dispositif de mesure continue du frottement doté d'un pneu à semelle lisse. Ce dispositif devrait être doté d'un système automouillant permettant de mesurer le frottement superficiel avec une épaisseur d'eau d'au moins 1 mm.

3.2.6 S'il y a lieu de penser que les caractéristiques de frottement d'une piste peuvent être réduites du fait que l'écoulement est insuffisant parce que les pentes sont mauvaises ou à cause de dépressions, un essai supplémentaire devrait être effectué dans les conditions naturelles représentatives d'une chute de pluie dans la région. La différence entre cet essai et l'essai précédent

réside dans le fait que la profondeur des flaques d'eau sur les portions de la piste où l'écoulement est insuffisant est normalement plus grande quand il pleut. Les résultats du deuxième essai permettent donc, mieux que l'essai précédent qui utilisait le système automouillant, d'identifier les zones à faible coefficient de frottement qui sont les plus susceptibles de créer des problèmes d'hydroplanage. Si les circonstances ne permettent pas de procéder aux essais de frottement dans des conditions naturelles représentatives d'une pluie, la pluie devra être simulée.

3.2.7 Même s'il se révèle que le frottement est supérieur au niveau fixé par l'État pour définir une piste glissante, on peut avoir observé que, dans des conditions inhabituelles, la piste devient glissante lorsqu'elle est mouillée. Ces cas se produisent à certains endroits lorsque, une première pluie succédant à une longue période de sécheresse, le coefficient de frottement de la piste est bien inférieur au coefficient habituel. Cette situation est temporaire et disparaît au fur et à mesure que la pluie lave la surface de la piste. On croit que ce phénomène est dû à l'émulsion de crasse et autres matières qui se déposent sur la piste et qui peuvent provenir de complexes industriels voisins. Un phénomène semblable a toutefois été observé sur les pistes situées dans les régions désertiques ou sablonneuses et dans les climats tropicaux humides où on l'a imputé à la prolifération d'une végétation fongique microscopique. Si l'on sait que cette situation se présente, il faudrait mesurer le coefficient de frottement dès qu'il y a lieu de penser que la piste est devenue glissante et il faudrait continuer à la faire jusqu'à ce que la situation soit corrigée.

3.2.8 Si les résultats de l'une quelconque des mesures décrites ci-dessus indiquent que seule une section particulière de la surface d'une piste est glissante, il est tout aussi important de prendre les dispositions voulues pour diffuser ce renseignement et de remédier à la situation.

3.2.9 Lorsqu'on procède aux mesures, il ne faut pas oublier que, contrairement à ce qui se passe sur les pistes couvertes de neige compactée ou de glace, pour lesquelles la variation du coefficient de frottement en fonction de la vitesse est très faible, le frottement sur piste mouillée diminue habituellement de façon marquée lorsque la vitesse augmente. Cependant, le taux de décroissance du frottement diminue à mesure que la vitesse augmente. Parmi les facteurs qui affectent le coefficient de frottement des pneus sur la surface des pistes, la texture de ces dernières est particulièrement importante. Si la piste a une bonne macrotexture permettant à l'eau de passer soit à travers les sculptures du pneu soit sous celui-ci, le frottement sera moins affecté par la vitesse. En revanche, sur une macrotexture médiocre, le frottement diminue sensiblement davantage à mesure que la vitesse augmente. Par conséquent, lorsqu'on effectue des mesures sur les pistes pour déterminer la valeur du frottement et la nécessité de procéder ou non à un entretien pour l'améliorer, il conviendra d'utiliser différentes vitesses suffisamment élevées pour faire apparaître ces variations du frottement en fonction de la vitesse.

3.2.10 Il n'est possible de déterminer avec précision les caractéristiques de frottement d'une piste mouillée que si les facteurs pertinents sont mesurés avec la plus grande précision possible. Des facteurs tels que l'étalonnage du dispositif de mesure du frottement, sa fiabilité, le type, la construction, l'état du pneu, la pression de gonflage, le coefficient de glissement et la quantité d'eau présente à la surface de la piste, exercent une influence sensible sur le coefficient de frottement final de la surface en question. Il s'ensuit que la technique de mesure doit être contrôlée d'une manière extrêmement rigoureuse.

3.2.11 Les États devraient spécifier les trois niveaux de frottement suivants:

- a) un *niveau nominal* qui correspond au niveau de frottement minimal pour une surface de piste neuve ou remise en état;
- b) un *niveau d'entretien* au-dessous duquel il y a lieu d'envisager des mesures correctives;
- c) un *niveau de frottement minimal* au-dessous duquel il y a lieu de signaler que la piste risque de devenir glissante lorsqu'elle est mouillée et d'entreprendre des mesures correctives.

Le Tableau 3-1, qui est fondé sur l'expérience acquise dans l'emploi de différents dispositifs de mesure du frottement, montre les critères utilisés dans certains États pour spécifier les caractéristiques de frottement des surfaces de pistes neuves ou remises en état, pour fixer des niveaux de planification de l'entretien et pour définir des niveaux de frottement minimums.

3.2.12 Il est également jugé particulièrement souhaitable de mesurer les caractéristiques de frottement d'une piste en dur à plusieurs vitesses afin d'obtenir des renseignements valables sur ces caractéristiques lorsque la piste est mouillée. À cet égard, il y a lieu de noter que, lorsqu'une piste est mouillée, l'effet d'une macrotexture ou d'une microtexture peu satisfaisante risque de ne pas être détecté si les essais sont effectués à une seule vitesse. On trouve à l'Appendice 4 une méthode d'essai normalisée faisant appel à une technique de mesure continue en mode roue freinée à un taux de glissement fixe, qui permet de déterminer la résistance au dérapage d'une surface en dur.

3.2.13 Étant donné que la valeur du coefficient de frottement dépend aussi étroitement de la texture du revêtement, elle peut varier avec le matériau de construction de la piste et la méthode de construction. En outre, certaines zones d'une piste sont utilisées plus souvent que d'autres ou sont recouvertes de dépôts de caoutchouc, ce qui se traduit par une modification de la valeur normale du coefficient de frottement. Ainsi, il est possible de conclure à la nécessité d'effectuer des mesures sur toute la longueur d'une piste. Afin de tenir compte de la largeur de piste à considérer, ces mesures devraient être effectuées

Tableau 3-1. Niveaux d'état de surface de piste

Dispositif de mesure	Pneu d'essai		Vitesse durant l'essai (km/h)	Épaisseur d'eau durant l'essai (mm)	Objectif de conception pour surface de piste neuve	Niveau de planification de maintenance	Niveau minimal de frottement
	Type	Pression (kPa)					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Mumètre	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Skiddomètre	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Véhicule de mesure du frottement de surface	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Véhicule de mesure du frottement sur les pistes	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
Véhicule de mesure du frottement Tatra	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42
Remorque RUNAR	B	210	65	1,0	0,69	0,52	0,45
	B	210	95	1,0	0,63	0,42	0,32
Remorque Grip Tester	C	140	65	1,0	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,64	0,36	0,24

suivant deux axes, à savoir deux lignes situées de part et d'autre de l'axe de piste à environ 3 m de ce dernier ou dans la zone de passage des roues de la plupart des avions. Dans le cas des pistes utilisées aussi bien par des avions à fuselage large que par des avions à fuselage étroit, il convient de procéder à des mesures à une distance de 5 m de part et d'autre de l'axe de piste.

3.2.14 Afin de réduire au minimum les variations des mesures du frottement qui sont dues aux méthodes de finition de la surface des pistes, il convient d'effectuer les mesures dans les deux sens et de calculer le coefficient moyen. Il faut aussi examiner toutes variations sensibles des résultats obtenus dans les deux sens. En outre, si l'on mesure le frottement le long d'une ligne d'essai à 5 m du bord de la piste, on obtient des données de frottement sur une surface propre et non usée que l'on peut comparer ensuite aux données obtenues sur la ou les lignes centrales empruntées par les avions.

3.2.15 Pour mesurer les coefficients de frottement sur piste mouillée, on peut utiliser des dispositifs de mesure continue du frottement comme ceux qui sont décrits dans le Chapitre 5. On peut utiliser d'autres dispositifs dans la mesure où ils répondent aux critères de 5.2 et à condition que soit établie la corrélation entre ces appareils et l'un au moins des types de dispositifs indiqués dans le Chapitre 5. L'Appendice 6 décrit une

méthode qui permet d'évaluer le coefficient de frottement lorsque l'aéroport ne dispose d'aucun appareil de mesure du frottement.

### 3.3 COMMUNICATION DES RENSEIGNEMENTS

Il est nécessaire de signaler la présence d'eau sur la moitié centrale de la largeur de la piste et d'évaluer, si possible, l'épaisseur de la couche d'eau. Pour pouvoir communiquer avec une certaine précision des renseignements sur l'état de la piste, les termes ci-après et les descriptions correspondantes devraient être utilisés:

Humide — la surface présente un changement de couleur dû à la présence d'humidité.

Mouillée — la surface est mouillée mais il n'y a pas d'eau stagnante.

Flaques d'eau — des flaques d'eau stagnante de dimensions appréciables sont visibles.

Noyée — de vastes nappes d'eau stagnante sont visibles.

### **3.4 INTERPRÉTATION DES MAUVAISES CARACTÉRISTIQUES DE FROTTEMENT**

3.4.1 Il est nécessaire de signaler que, par suite de mauvaises caractéristiques de frottement, une piste ou une section de piste peuvent être glissantes lorsqu'elles sont mouillées. Il peut en résulter une dégradation appréciable des performances de freinage et du contrôle directionnel des avions.

3.4.2 Il est conseillé de s'assurer que la distance d'atterrissage spécifiée dans le manuel de vol de l'avion pour une

chaussée glissante ne dépasse pas la distance utilisable à l'atterrissage pour la piste considérée. En cas de possibilité de décollage interrompu, il convient de procéder à des inspections périodiques de la partie de la piste qui serait utilisée pour l'arrêt d'urgence afin de s'assurer qu'elle présente des caractéristiques de frottement satisfaisantes pour le freinage. Il sera peut-être impossible d'immobiliser l'avion en sécurité à partir de la vitesse  $V_1$  (vitesse de décision) et, selon la distance disponible et les autres facteurs limitatifs, il faudra peut-être réduire la masse de l'avion au décollage ou retarder le décollage en attendant une amélioration des conditions.

---



## Chapitre 4

# Mesure des caractéristiques de frottement des surfaces en dur recouvertes de neige compactée ou de glace

### 4.1 GÉNÉRALITÉS

4.1.1 Il est nécessaire pour l'exploitation de disposer de renseignements sûrs et uniformes au sujet des caractéristiques de frottement des surfaces en dur recouvertes de neige et/ou de glace. On peut obtenir une indication fiable et précise des caractéristiques du frottement des surfaces en utilisant des dispositifs de mesure. Cependant, il est nécessaire d'acquérir une plus grande expérience pour assurer une corrélation valide entre les résultats obtenus au moyen de ces dispositifs et les performances des avions, étant donné les nombreuses variables à considérer, comme la masse de l'avion, sa vitesse, le mécanisme de freinage et les caractéristiques des pneus et du train d'atterrissage.

4.1.2 La mesure du coefficient de frottement s'est révélée la meilleure base pour déterminer les caractéristiques de frottement d'une surface. La valeur du frottement doit être spécifiée comme étant la valeur maximale du frottement qui se produit lorsqu'une roue glisse sans être bloquée. On peut utiliser différents dispositifs de mesure du frottement. Étant donné que l'exploitation exige l'application d'une méthode uniforme pour évaluer et communiquer les conditions de freinage sur une piste, il est recommandé d'utiliser de préférence un équipement permettant de mesurer de façon continue le coefficient maximal de frottement sur toute la longueur de la piste. Le Chapitre 5 donne une description de différents dispositifs de mesure du frottement qui répondent à ces besoins; il analyse en outre les possibilités de normalisation, ainsi que la corrélation qui doit exister entre les différents véhicules et entre ceux-ci et l'efficacité de freinage des pneus d'avion.

### 4.2 PROBLÈMES LIÉS À L'ÉVOLUTION DES CONDITIONS DE MESURE

4.2.1 Les besoins courants en ce qui concerne la mesure du coefficient de frottement sur la piste dans les conditions hivernales doivent être déterminés par l'administration aéroportuaire à laquelle incombe la responsabilité de décider si l'état actuel de la surface de piste offre ou non la sécurité voulue pour l'exploitation. Si cette responsabilité revient à l'organisme des services de la circulation aérienne et si ce dernier est informé par

le service météorologique qu'il faut s'attendre à la formation de glace ou à une chute de neige, il aura probablement besoin de comptes rendus toutes les heures au moins et, en tout cas, toutes les fois qu'il y a des raisons de croire qu'un changement sensible est intervenu dans l'état de la surface de piste. Si l'aéroport est ouvert 24 heures sur 24, l'organisme des services de la circulation aérienne devra veiller à ce que les renseignements sur l'état de la surface des pistes soient à jour tout au long de cette période de mauvais temps. Si l'aéroport est fermé la nuit, l'organisme devra faire procéder à des mesures du frottement pour vérifier l'état de la surface des pistes avant d'ouvrir l'aéroport à l'exploitation.

4.2.2 Certaines circonstances nécessitent une attention particulière, comme lorsque la température de la piste évolue autour du point de congélation ou dans des conditions météorologiques en cours d'évolution, lorsqu'un courant d'air chaud et humide affecte une piste très froide. Dans de tels cas, il a été constaté en outre que les valeurs du coefficient de frottement peuvent différer sensiblement selon l'usure du matériau à la surface de la piste. Les mesures du frottement devraient donc être effectuées sur la piste en service et non pas sur une piste ou une voie de circulation adjacente qui peut être construite avec un matériau différent.

4.2.3 La fiabilité des essais effectués avec des dispositifs de mesure du frottement peut être compromise par le manque d'uniformité de la couche présente sur la piste lorsqu'elle n'est pas constituée de neige compactée et/ou de glace. C'est notamment le cas lorsqu'une piste est recouverte d'une fine couche de neige fondante, d'une pellicule d'eau sur la glace ou de neige fraîchement tombée, sèche ou mouillée. Les roues du véhicule d'essai peuvent alors entamer la couche de dépôts sur la piste et les roues d'un avion l'entameront aussi, mais de façon différente, ce qui se traduirait par des différences sensibles dans les indications de performances de freinage. Les résultats des essais effectués avec différents dispositifs de mesure du frottement peuvent présenter des variations considérables étant donné les différences qui existent entre les diverses méthodes d'essai et, pour une méthode particulière, par suite des différentes caractéristiques des véhicules et des différentes méthodes individuelles appliquées au cours de l'essai. Il est indispensable, en outre, de veiller à fournir aux pilotes les renseignements nécessaires sur le

coefficient de frottement de la piste dans les cas où l'on observe une pellicule d'eau sur les couches de glace.

4.2.4 L'utilité des renseignements relatifs au coefficient de frottement de la piste sera fonction du degré de corrélation de ce coefficient avec les performances d'arrêt réelles des avions. Il ne fait pas de doute que ces renseignements sont nécessaires pour aider l'administration aéroportuaire à formuler des jugements dans le domaine de l'exploitation; dans le cas des pistes glacées, toutefois, la mesure et la communication des coefficients de frottement ne devraient être considérées que comme une procédure provisoire en attendant que l'on ait fini de procéder aux opérations de dégagement et autres mesures correctives destinées à remettre complètement la piste en service. Alors que, sur une surface mouillée, le coefficient de frottement décroît avec l'augmentation de la vitesse, des essais effectués sur la glace ou la neige tassée n'indiquent pas une différence appréciable dans les valeurs du coefficient de frottement entre les vitesses relativement faibles des véhicules de mesure et la vitesse des avions. Cependant, la valeur du coefficient de frottement mesuré sur une piste recouverte de plaques de glace à intervalles courts et réguliers peut être différente de la valeur observée par le pilote par suite du temps de réaction du système antidérapage de l'avion.

4.2.5 En ce qui concerne les avantages relatifs de la mesure du coefficient de frottement sur une piste recouverte de neige compactée et/ou de glace et de l'emploi de moyens efficaces visant à empêcher l'accumulation de dépôts de précipitation, il convient de noter que l'enlèvement immédiat de la neige et de la glace devrait avoir la plus haute priorité. Toutefois, il y a des cas qui justifient la mesure du coefficient de frottement et, par conséquent, l'élaboration de méthodes acceptables. Par exemple, on a signalé des cas de freinage ou de contrôle directionnel inefficaces sur des pistes qui étaient apparemment propres et sèches. Une telle diminution du coefficient de frottement, bien qu'elle ne soit pas visible en apparence, aurait pu être décelée par une mesure. Des incidents de ce genre peuvent se produire à des aéroports où le nombre des mouvements de nuit est faible ou nul, lorsque ceux-ci reprennent au début de la matinée et que l'on observe de la gelée blanche ou que, lorsque la température ambiante est inférieure au point de congélation, la température de la surface de la piste tombe au-dessous du point de rosée (par exemple, par suite du rayonnement de la chaussée). Il convient de noter que si la température communiquée pour l'aéroport peut demeurer au-dessus du point de congélation, la température à la surface de la piste peut tomber au-dessous de ce point et les coefficients de frottement à la surface peuvent devenir extrêmement faibles en très peu de temps par suite d'une soudaine formation de glace.

4.2.6 Lorsque la surface d'une piste est glacée, le coefficient de frottement est davantage sujet à variations. Dans ces conditions, des mesures fréquentes s'imposent et exigent

l'élaboration de procédures appropriées ainsi qu'une collaboration étroite entre les organismes compétents des services de la circulation aérienne, l'administration aéroportuaire et le personnel chargé de faire fonctionner le dispositif de mesure du frottement.

4.2.7 Aux aéroports qui subissent régulièrement de fortes chutes de neige, il est parfois nécessaire d'interrompre les opérations d'enlèvement de la neige pour une brève période afin de permettre à l'exploitation de se poursuivre. Dans ces cas, il est peu probable que la piste soit entièrement propre et il faudra alors effectuer des mesures, vu l'importance extrême de la communication des résultats aux équipages des avions. De plus, malgré les dispositions prises pour maintenir la piste propre, il se peut que certaines zones demeurent glissantes. Il est par conséquent nécessaire de procéder à des mesures en vue d'identifier ces zones et de fournir aux pilotes des renseignements sur les caractéristiques de frottement à prévoir sur l'ensemble de la piste.

4.2.8 Il est préférable d'utiliser un dispositif qui donne une mesure continue. Toutefois, pour l'exploitation courante, lorsque les pistes sont recouvertes de neige compactée et/ou de glace, il est indispensable que le véhicule de mesure puisse fournir les renseignements nécessaires rapidement et sous une forme utilisable en exploitation.

4.2.9 On a mis en doute la possibilité pratique de mesurer l'épaisseur de la couche de neige sèche, de neige mouillée ou de neige fondante sur une piste étant donné qu'il s'agit d'une opération qui demande beaucoup de temps, temps qui pourrait être consacré plus utilement au déblaiement des chaussées, surtout si l'on considère que l'enlèvement de la neige fondante est relativement rapide et simple. De plus, les procédures de mesure de l'épaisseur des résidus de précipitation sont généralement fondées sur l'hypothèse que la couche est uniforme, ce qui est rarement le cas dans la pratique. En dépit de ce qui précède, toutes les fois que l'on se trouve en présence de neige sèche, de neige mouillée ou de neige fondante sur la piste, il conviendra de procéder à une évaluation de l'épaisseur moyenne de la couche sur chaque tiers de la piste.

### 4.3 PRÉCISION EXIGÉE POUR LES RENSEIGNEMENTS SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE FROTTEMENT

4.3.1 Pour un avion de transport moderne à turbo-propulseurs, l'augmentation de la distance d'immobilisation sur une piste recouverte de glace par rapport à une piste sèche peut atteindre 900 m dans les cas extrêmes. Il n'existe encore aucune entente générale sur la possibilité de prévoir avec précision l'augmentation de la distance d'immobilisation due à un faible

coefficient de frottement  $\mu$ . Il faudrait procéder à d'autres recherches afin d'établir la corrélation entre le coefficient de frottement mesuré et les performances d'arrêt des avions.

4.3.2 Il existe une corrélation acceptable entre les performances d'arrêt des avions et les dispositifs de mesure du frottement utilisés sur les pistes recouvertes de neige compactée et/ou de glace (voir aussi 5.3). Les équipages d'avions ont déjà pu établir empiriquement une corrélation pratique pour certains dispositifs de mesure. C'est pourquoi les équipages demandent avec insistance que les administrations aéroportuaires fournissent des renseignements sur la mesure du coefficient de frottement obtenu à l'aide de l'un des dispositifs agréés à cette fin. Tout semble indiquer que plus la piste est glissante, plus on peut accorder foi aux mesures du coefficient de frottement, ce qui semble répondre aux exigences de l'exploitation. En conséquence, la plus utile des mesures à prendre pour le moment serait de normaliser les résultats des mesures effectuées pendant l'hiver et de permettre aux équipages, compte tenu de leur expérience, d'appliquer ces renseignements à l'avion et à l'aéroport particuliers qu'ils utilisent.

#### 4.4 MESURE

4.4.1 Il convient de mesurer le coefficient de frottement lorsqu'une piste est recouverte partiellement ou totalement de neige ou de glace et de répéter cette mesure lorsque les conditions changent. Il convient de mesurer le frottement et/ou d'évaluer le freinage sur les chaussées d'aéroport autres que les pistes lorsqu'on peut s'attendre à un frottement insuffisant sur ces chaussées.

4.4.2 On peut utiliser, pour mesurer les coefficients de frottement sur les pistes recouvertes de neige compactée et/ou de glace, un dispositif de mesure continue (mumètre, véhicule de mesure du frottement sur les pistes, skiddomètre, véhicule de mesure du frottement de surface ou «Grip Tester», par exemple). On peut se servir d'un décéléromètre (brakemètre-dynamomètre ou tapleymètre, par exemple) seulement quand la surface est recouverte de neige compactée et/ou de glace, la neige et/ou la glace étant elles-mêmes éventuellement recouvertes de couches très fines de neige sèche. On peut utiliser d'autres dispositifs de mesure du frottement à condition que la corrélation nécessaire ait été établie avec l'un au moins des types d'équipement mentionnés ci-dessus. Il ne faut pas utiliser un décéléromètre dans la neige folle ou la neige fondante, car ce dispositif peut fournir des valeurs de frottement erronées. D'autres dispositifs de mesure du frottement peuvent également donner des valeurs erronées en présence de certaines combinaisons de dépôts et de certaines variations de température d'air et de chaussée. L'Appendice 2 décrit des méthodes permettant d'évaluer le freinage lorsque l'aéroport ne dispose d'aucun appareil de mesure du frottement.

#### 4.5 COMMUNICATION DES RENSEIGNEMENTS

4.5.1 Il est nécessaire de signaler la présence de neige, de neige fondante ou de glace sur une piste ou sur une voie de circulation. Afin de pouvoir rendre compte, avec assez de fiabilité et d'uniformité, de la nature des résidus de précipitation, il faut définir une méthode uniforme de description. C'est pourquoi les définitions ci-après de la neige au sol et de la neige fondante ont été ajoutées au Volume I de l'Annexe 14.

*Neige (au sol).*

- a) *Neige sèche.* Neige qui, non tassée, se disperse au souffle ou qui, tassée à la main, se désagrège une fois relâchée; densité inférieure à 0,35.
- b) *Neige mouillée.* Neige qui, tassée à la main, s'agglutine et forme ou tend à former une boule; densité égale ou supérieure à 0,35 et inférieure à 0,5.
- c) *Neige compactée.* Neige qui a été comprimée en une masse solide et résiste à une nouvelle compression et qui forme bloc ou se fragmente lorsqu'on la ramasse; densité égale ou supérieure à 0,5.

*Neige fondante.* Neige gorgée d'eau qui, si l'on frappe du pied à plat sur le sol, produit des éclaboussures; densité de 0,5 à 0,8.

*Note.— Les mélanges de glace, de neige et/ou d'eau stagnante peuvent, notamment lors des chutes de pluie, de pluie et neige, ou de neige, avoir des densités supérieures à 0,8. Ces mélanges, en raison de leur haute teneur en eau ou en glace, ont un aspect transparent au lieu d'un aspect translucide, ce qui, dans la gamme des mélanges à haute densité, les distingue facilement de la neige fondante.*

4.5.2 Il est nécessaire aussi de rendre compte des caractéristiques de frottement d'une piste recouverte de neige compactée et/ou de glace. Les conditions de frottement d'une piste devraient être exprimées sous forme de «renseignements sur le freinage» au moyen d'un coefficient de frottement  $\mu$  mesuré ou calculé ou d'une estimation de l'efficacité de freinage.

4.5.3 Les valeurs numériques spécifiques de  $\mu$  sont nécessairement liées à la conception et à la construction du dispositif de mesure tout autant qu'à l'état de la surface qui fait l'objet des mesures et, dans une moindre mesure, à la vitesse choisie.

4.5.4 Le Tableau 4-1 et les expressions descriptives correspondantes résultent de données sur le frottement recueillies uniquement dans le cas de la neige compactée et de la glace et il importe par conséquent de ne pas les considérer comme des

**Tableau 4-1. Coefficient de frottement pour pistes recouvertes de neige compactée et/ou de glace**

Coefficient de frottement mesuré	Évaluation du freinage	Code
0,40 et plus	Bon	5
De 0,39 à 0,36	Moyen-bon	4
De 0,35 à 0,30	Moyen	3
De 0,29 à 0,26	Moyen-faible	2
0,25 et moins	Faible	1

valeurs absolues de  $\mu$  applicables à tous les types de dépôts. Si les caractéristiques de la surface sont modifiées par la neige ou la glace alors que le freinage est qualifié de «bon», les pilotes ne devraient pas s'attendre à une chaussée aussi bonne que celle d'une piste propre et sèche (sur laquelle le frottement pourrait bien être supérieur au frottement nécessaire). L'indication «bon» est relative et signifie qu'il ne devrait pas y avoir de difficulté de contrôle de direction ou de freinage au cours de l'atterrissage.

4.5.5 On a constaté qu'il était nécessaire de fournir des renseignements sur le frottement de surface pour chaque tiers de la longueur de la piste. Les tiers sont identifiés par les lettres A, B et C, et lorsque les renseignements sont communiqués aux organismes des services aéronautiques, le tiers A sera toujours celui qui se trouve du côté de la piste dont le numéro d'identification est le plus bas. Lorsqu'on donne des renseignements à un pilote pour l'atterrissage, les tiers de piste sont appelés première, deuxième ou troisième partie de la piste. On entend toujours par «première partie» le premier tiers de la piste, soit la partie de la piste sur laquelle l'avion se posera.

4.5.6 Les mesures du frottement se font le long de deux lignes parallèles à l'axe de la piste et situées de part et d'autre de

cet axe à une distance d'environ 3 m ou à la distance correspondant au passage des roues de la plupart des avions. Les essais ont pour objet de déterminer la valeur moyenne du coefficient de frottement  $\mu$  pour les sections A, B et C. Lorsqu'on utilise un dispositif de mesure continue, on obtient des valeurs moyennes de  $\mu$  à partir des coefficients enregistrés pour chaque tiers. Si l'on utilise un dispositif de mesure ponctuel, la distance entre deux points d'essai consécutifs ne devrait pas dépasser environ 10 % de la longueur utilisable de la piste. S'il est décidé qu'une seule et unique ligne d'essai, sur un côté de l'axe de la piste, fournit une indication suffisante pour l'ensemble de la piste, il s'ensuit que trois essais devraient être effectués sur chaque tiers de piste. Les résultats des essais et les coefficients de frottement moyens calculés peuvent être inscrits sur un imprimé analogue à celui qui est présenté à la Figure 5-1. Le cas échéant, les chiffres relatifs au frottement sur les prolongements d'arrêt devraient être aussi communiqués sur demande.

4.5.7 Lorsqu'on rend compte de la présence de neige sèche, mouillée ou fondante sur une piste, il faudrait évaluer l'épaisseur moyenne de la couche sur chaque tiers de la piste avec une précision d'environ 2 cm pour la neige sèche, 1 cm pour la neige mouillée et 0,3 cm pour la neige fondante.

# Chapitre 5

## Dispositifs de mesure du coefficient de frottement sur une piste

### 5.1 POSSIBILITÉ DE NORMALISATION

Plusieurs types de dispositifs de mesure du coefficient de frottement sont actuellement en service aux aéroports de divers États. Leur fonctionnement obéit à des principes variés et leurs caractéristiques techniques et opérationnelles fondamentales sont différentes. Les résultats de plusieurs programmes de recherches visant à établir une corrélation entre les différents dispositifs de mesure du frottement ont montré qu'il a été possible d'établir une corrélation satisfaisante entre les valeurs de frottement indiquées par ces dispositifs sur des surfaces artificiellement mouillées (voir 5.3). Il n'a pas été possible, par contre, d'obtenir une corrélation uniforme et fiable entre ces dispositifs et les performances d'arrêt des avions sur des surfaces mouillées. Quoique imparfaite, la corrélation entre les différents dispositifs de mesure, dans le cas des surfaces recouvertes de neige compactée et/ou de glace, est nettement meilleure que la corrélation obtenue dans le cas des surfaces mouillées. Les résultats obtenus au moyen des dispositifs de mesure sur des pistes mouillées artificiellement peuvent être utilisés uniquement à titre indicatif à des fins d'entretien; ils ne doivent pas servir à anticiper les performances d'arrêt des avions.

### 5.2 CRITÈRES POUR DE NOUVEAUX DISPOSITIFS DE MESURE DU FROTTEMENT

La huitième Conférence de navigation aérienne (1974) a recommandé que l'OACI mette au point des critères concernant les caractéristiques opérationnelles et techniques fondamentales de l'équipement de mesure du coefficient de frottement sur les pistes. À la suite de cette recommandation, on a mis au point des critères pertinents qui ont été communiqués aux États. Il a été jugé que ces éléments aideraient les États qui envisageraient la conception d'un tel équipement. Néanmoins, les États ont été avisés qu'il n'est pas certain que l'on puisse obtenir une corrélation plus acceptable, sur piste mouillée, entre les dispositifs de mesure et les performances de freinage des avions avec un nouvel équipement de mesure éventuellement mis au point selon les critères proposés. Un résumé de ces critères, révisés et

actualisés en 1991, est reproduit ci-après. Ces critères visent à assurer la normalisation des paramètres de calcul pour les nouveaux dispositifs de mesure du frottement; ils sont censés offrir la souplesse et la latitude nécessaires pour les dispositifs futurs, sans nuire aux progrès de la technique dans ce domaine. En outre, on trouvera dans l'Appendice 3 la procédure d'essai de la NASA pour la certification des dispositifs de mesure du frottement.

#### *Spécifications techniques fondamentales auxquelles devront répondre les dispositifs de mesure du frottement*

1. *Mode de mesure.* Il faudrait procéder à une mesure continue en mouvement le long de la partie de la chaussée sur laquelle porteront les essais.
2. *Maintien de l'étalonnage.* Le dispositif devrait être conçu de manière à pouvoir supporter une utilisation intensive tout en maintenant l'étalonnage initial, ce qui garantit des résultats fiables et uniformes.
3. *Mode de freinage.* Au cours des opérations de mesure du frottement effectuées on utilise:
  - a) un dispositif à taux de glissement fixe, la roue de mesure devrait être freinée continuellement avec un taux de glissement constant compris entre 10 et 20 %;
  - b) un dispositif avec effort latéral, l'angle compris (roue unique) devrait être de 5° à 10°.
4. *Vibrations excessives.* Le dispositif devrait être conçu de manière à exclure toute possibilité de vibrations verticales prolongées de la masse suspendue et non suspendue, dans toute la gamme des vitesses de déplacement pendant les opérations de mesure, en particulier en ce qui concerne la roue de mesure.
5. *Stabilité.* Le dispositif devrait avoir une stabilité positive en lacet pendant toutes les phases de l'opération, notamment pendant les virages à grande vitesse qu'il faut parfois exécuter pour dégager la piste.

6. *Gamme d'enregistrement du coefficient de frottement.* La gamme d'enregistrement du coefficient de frottement devrait s'étendre de 0 à au moins 1,0.
  7. *Présentation des résultats des mesures.* Le dispositif devrait pouvoir enregistrer, de façon permanente, le tracé graphique continu des valeurs du coefficient de frottement pour la piste, ainsi que toute observation formulée par la personne qui procède à l'opération, avec indication de la date et de l'heure de l'enregistrement (voir Figure 5-1).
  8. *Erreur acceptable.* Le dispositif devrait pouvoir répéter de façon régulière les moyennes de frottement, sur toute la gamme des coefficients de frottement, avec un niveau de confiance de  $95,5 \% \pm 6 \mu$  (ou deux écarts types).
  9. *Paramètre mesuré et enregistré.*
    - a) Pour un dispositif à taux de glissement fixe, la valeur de frottement enregistrée devrait être proportionnelle au rapport entre la force de frottement longitudinale et la charge verticale sur la roue.
    - b) Pour un dispositif à effort latéral, la valeur de frottement enregistrée devrait être proportionnelle au rapport entre l'effort latéral et la charge sur la roue.
  10. *Gamme des vitesses de déplacement.* Lorsqu'on procède aux mesures du frottement, la gamme des vitesses de déplacement du dispositif de mesure devrait s'étendre de 40 à au moins 130 km/h.
  11. *Valeur moyenne des accroissements de  $\mu$ .* Le dispositif devrait pouvoir fournir automatiquement des moyennes du coefficient de frottement, au moins pour les conditions suivantes:
    - a) pour les 100 premiers mètres de la piste;
    - b) pour chaque tronçon supplémentaire de 150 m;
    - c) pour chaque tiers de la piste.
  12. *Échelle horizontale.* Afin de limiter le plus possible les variations d'échelle importantes entre les différents dispositifs de mesure, le constructeur peut offrir, à titre d'option, une échelle de 25 mm pour 100 m. Cette échelle pourrait ainsi simplifier les comparaisons de données lorsqu'on utilise deux ou plusieurs dispositifs de mesure de frottement sur le même aéroport.
  13. *Spécifications du pneu.* Pour des mesures sur des surfaces naturellement ou artificiellement mouillées, les dispositifs qui fonctionnent dans le mode lacet devraient utiliser un pneu à bande de roulement lisse gonflé à 70 kPa; le pneu devrait être conforme à la spécification E670, Annexe A2, de l'American Society for Testing Materials (ASTM). À l'exception du Grip Tester, les dispositifs qui fonctionnent en mode taux de glissement fixe doivent utiliser des pneus à bande de roulement lisse fabriqués conformément à la spécification ASTM E1551 et gonflés à 210 kPa. Le pneu du Grip Tester doit être conforme à la spécification ASTM E1844. Pour les surfaces recouvertes de neige fraîche, mouillée, sèche ou compactée, et/ou de glace, les dispositifs fonctionnant en mode taux de glissement fixe devraient utiliser un pneu à semelle sculptée conforme à la spécification ASTM E1551 et gonflé à 700 kPa, sauf le Grip Tester, qui devrait utiliser le pneu de série D (Slushcutter) ou de série S (Disctyre) du constructeur.
  14. *Variations admissibles pour le pneu.* Afin de limiter le plus possible les variations qui peuvent affecter les dimensions physiques du pneu de mesure et les caractéristiques de la bande de roulement, le constructeur du pneu devrait suivre les indications de la spécification ASTM pertinente. Le pneu est un élément très critique du dispositif de mesure du frottement; il importe de faire en sorte qu'il soit toujours fiable et donne des résultats uniformes. Les procédures à suivre pour évaluer le rendement et la fiabilité du dispositif de mesure du frottement et des pneus sont décrites en 5.3.
  15. *Utilisation tous temps.* Le dispositif de mesure devrait être conçu de manière à garantir son fonctionnement normal en tous temps et dans toutes les conditions météorologiques.
  16. *Entretien du dispositif.* L'entretien technique du dispositif de mesure devrait permettre de garantir la sécurité des opérations de mesure et de transport.
  17. *Mouillage artificiel.* Les dispositifs de mesure devraient être équipés d'un système automouillant permettant de mesurer les caractéristiques de frottement lorsque la surface est recouverte d'une pellicule d'eau dont l'épaisseur contrôlée est d'au moins 1 mm.
- Note.— On trouve à l'Appendice 3 une procédure d'essai mise au point par la NASA pour la certification de dispositifs de mesure du frottement fonctionnant en continu utilisés aux aéroports.*

### 5.3 CORRÉLATION ENTRE LES DIFFÉRENTS DISPOSITIFS DE MESURE DU FROTTEMENT

5.3.1 La possibilité d'obtenir un degré de corrélation utile entre les différents dispositifs de mesure du frottement fait depuis longtemps l'objet de nombreux essais dans plusieurs

Type d'équipement	Heure	Emplacement				Programme n°
Date de l'essai	Vent	Direction				
Conditions météorologiques	État avant l'essai					
Piste						
Description de la surface						
Essais de texture superficielle		Graisse (mm)			Eau (secondes)	
Position 1						
Position 2						
Position 3						
Essai d'usure des pneus		Perte de caoutchouc (grammes)				
Pneu gauche						
Pneu droit						
Total						
Essais effectués par		Véhicule tracteur				
Méthode de mouillage		Épaisseur de la nappe d'eau				(mm)
Longueur de l'enregistrement		Vitesses d'essai				
À partir de		Jusqu'à				
Distance entre la ligne de passage et l'axe de piste						
Résultats des mesures de frottement						
Vitesse km/h	32	65	95	130	145	160
Premier tiers						
Deuxième tiers						
Troisième tiers						
Numéro de référence du tableau d'enregistrement et moyens d'identification des différents passages et de la vitesse:						
Vitesse km/h	32	65	95	130	145	160
Section de la piste à 45 m de l'axe de piste sur laquelle le coefficient de frottement le plus faible a été enregistré (à l'exclusion des marques de peinture)						

Note.— Le tableau d'enregistrement initial, ou une reproduction de celui-ci, doit être joint au présent formulaire.

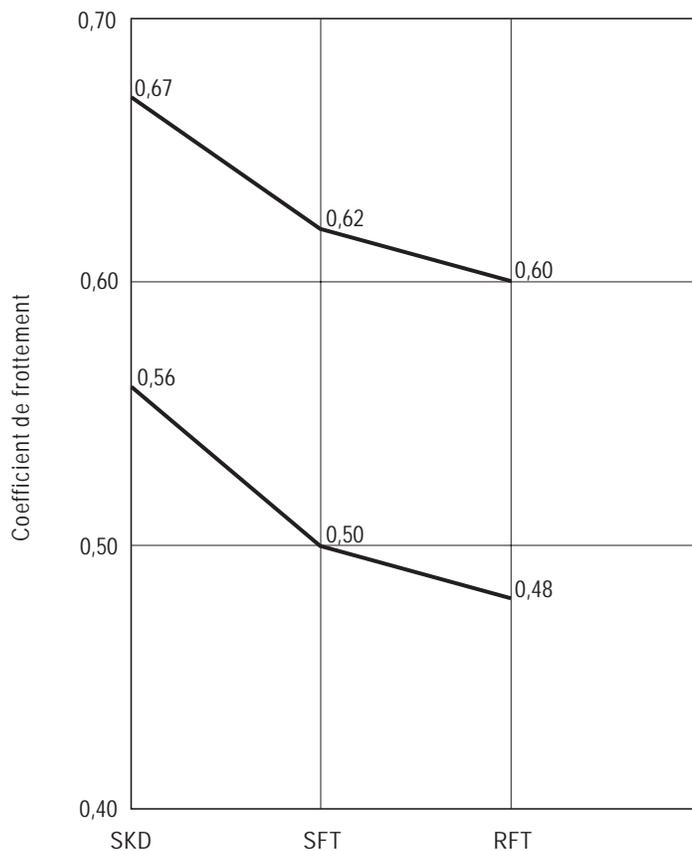
Figure 5-1. Formulaire de compte rendu d'essai

États. En 1989, les États-Unis ont entrepris un programme visant à élaborer des normes qui garantiraient le rendement et la fiabilité du pneu de mesure sur des surfaces de piste artificiellement mouillées. Par la suite, on a procédé à des essais de corrélation à l'aide de plusieurs dispositifs de mesure continue du frottement (voir Figure 5-2).

5.3.2 À l'origine, quatre types de dispositif de mesure ont été utilisés dans le programme d'évaluation: trois fonctionnant à taux de glissement fixe (dispositif de mesure du frottement sur les pistes, dispositif de mesure du frottement de surface et skiddomètre) et un à effort latéral, le mumètre. Depuis lors, trois autres types de dispositif à taux de glissement fixe (Grip Tester,

dispositif de mesure du frottement Tatra et analyseur-enregistreur de piste RUNAR) ont subi les mêmes essais. La corrélation entre les sept dispositifs évalués dans le programme est illustrée dans le Tableau 3-1.

5.3.3 Un programme visant à établir le rendement du pneu et une corrélation entre les dispositifs de mesure, sur des surfaces recouvertes de neige compactée et/ou de glace, a été réalisé à la station aéronavale de Brunswick (Maine), au cours de l'hiver 1985-1986, en même temps que le programme conjoint FAA/NASA. On a utilisé, à cette occasion, deux avions dotés des instruments appropriés, soit un B-737 pour la NASA et un B-727 pour la FAA, ainsi que les dispositifs de mesure suivants:



Notes.—

1. Vitesse d'essai: 65 km/h; épaisseur d'eau: 1 mm.
2. On a utilisé, pour base de corrélation, le coefficient de 0,50 établi avec le mumètre. la plage fixée est de  $\pm$  deux écarts types.

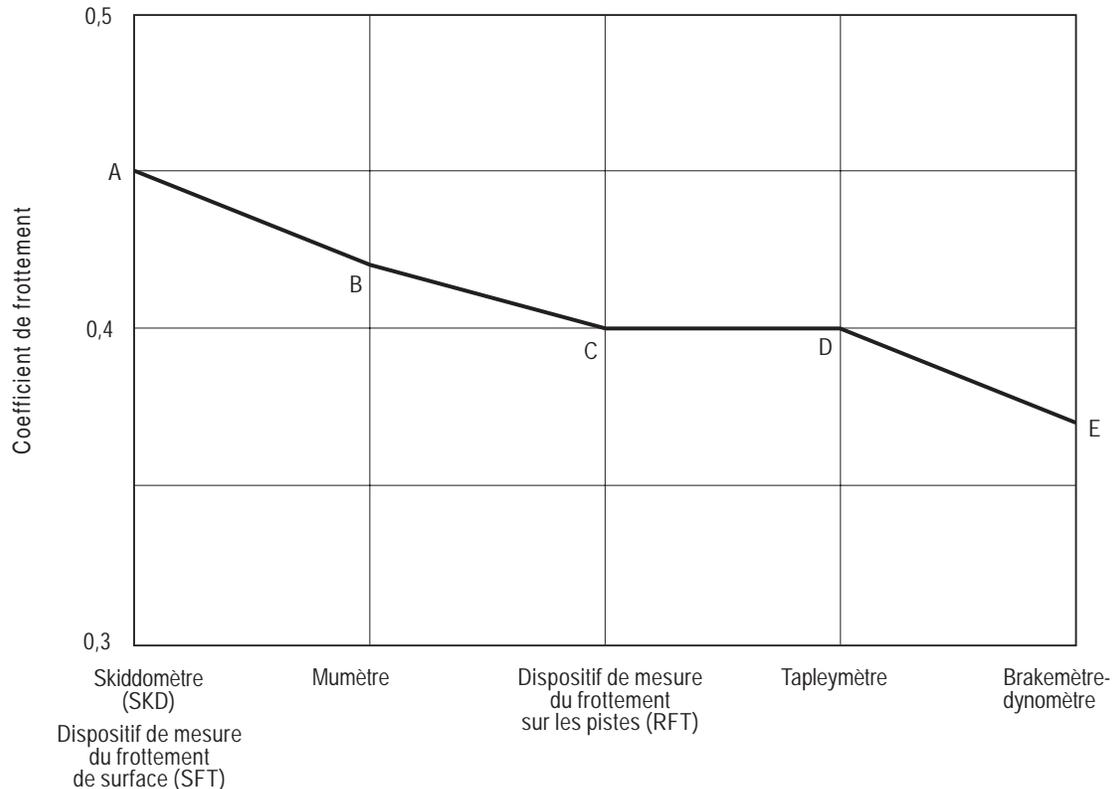
**Figure 5-2. Tableau de corrélation des dispositifs utilisés pour la mesure du frottement sur des surfaces sèches artificiellement mouillées**

mumètre, dispositif de mesure du frottement sur les pistes, skiddomètre BV-11, tapleymètre, brakemètre Bowmonk et le dispositif de mesure du frottement de surface. Le volume de données sur le frottement recueillies au moyen de ces dispositifs, pour des surfaces recouvertes de neige fondante ou de neige fraîche, s'est révélé insuffisant pour permettre d'établir une corrélation raisonnable. La Figure 5-3 montre la corrélation établie entre les différents dispositifs pour les surfaces recouvertes de neige compactée et/ou de glace seulement. Pour ces conditions hivernales, la température ambiante variait de -15 °C à 0 °C. Il est souhaitable de procéder à un complément de mesure du frottement à des températures plus basses afin de confirmer les données actuelles de corrélation.

5.3.4 Les données recueillies révèlent que, dans le cas d'une piste recouverte de neige compactée et/ou de glace, les températures de l'air et de la surface de chaussée, aussi bien que le type des résidus de précipitation, influent sur les indications du coefficient de frottement. Aux températures inférieures au point de congélation, le frottement sur la piste dépend de la résistance au cisaillement de la neige compactée et de la glace, laquelle tend à augmenter à mesure que la température diminue. En conséquence, plus basse est la température de la neige ou de la glace, plus le niveau de frottement sur la piste est élevé.

Lorsque la température se rapproche du point de fusion pour la neige compactée et la glace, on assiste à la formation d'une mince pellicule d'eau qui risque de réduire considérablement les niveaux de frottement sur la piste par lubrification ou par hydroplanage visqueux. Les mesures du frottement ont été recueillies à des vitesses de véhicule variant entre 32 et 95 km/h, mais les données indiquent une valeur du coefficient de frottement à peu près constante sur cette gamme de vitesses (l'incidence de la vitesse est négligeable).

5.3.5 Certains dispositifs de mesure continue font appel à des pneus de type différent ou fonctionnent avec taux de glissement fixe ou en mode de roulage en lacet, mais les essais ont montré que les lectures fournies par ces équipements sont fiables et présentent entre elles une corrélation lorsqu'on utilise des systèmes automouillants avec un débit d'eau contrôlé en avant du pneu de mesure, à vitesse constante ou sur toute une gamme de vitesses. Cependant, lorsque ces mêmes dispositifs sont utilisés sur des surfaces de piste mouillées à la suite d'une pluie, la corrélation établie peut être moins fiable. Ce phénomène est attribué aux variations différentielles de l'épaisseur d'eau causée par des variations dans la surface de chaussée. Il est donc très important de contrôler l'épaisseur d'eau lorsqu'on procède à la classification des chaussées pour les besoins de l'entretien.



**Figure 5-3. Tableau de corrélation des dispositifs utilisés pour la mesure du frottement sur des surfaces recouvertes de neige compactée et/ou de glace**

Dans le cas des surfaces recouvertes de neige compactée et/ou de glace, les facteurs qui ont une incidence sur les valeurs du coefficient de frottement sont moins nombreux étant donné que l'efficacité du freinage sur de telles surfaces est indépendante de la vitesse.

5.3.6 La Figure 5-3 illustre la corrélation établie entre les divers dispositifs de mesure du frottement lorsque la chaussée est recouverte de neige compactée et/ou de glace. Il conviendra d'appliquer, pour les essais, les procédures suivantes:

A. *Dispositif de mesure continue du frottement* (mumètre, Grip Tester, dispositif de mesure du frottement de surface, dispositif de mesure du frottement sur les pistes ou skiddomètre)

Vitesse d'essai: 65 km/h, sauf sur la glace, auquel cas on pourra utiliser une vitesse inférieure.

B. *Décéléromètre* (tapleymètre, brakemètre-dynamomètre)

1. Spécifications du véhicule:

- a) le véhicule devrait avoir une masse de l'ordre de 1 à 2 tonnes;
- b) le véhicule devrait être doté de pneus à neige sans clous, gonflés à la pression recommandée par le fabricant. L'usure des pneus ne devrait pas dépasser 75 %;
- c) le véhicule devrait être équipé de quatre freins convenablement réglés pour que l'effet soit équilibré;
- d) la tendance à piquer du véhicule devrait être minimale et la stabilité directionnelle devrait être maintenue de façon satisfaisante en cours de freinage.

2. Le décéléromètre devrait être installé à bord du véhicule selon les instructions du fabricant. Il devrait être, en outre, placé et assujéti afin qu'il ne puisse être déplacé, soit par le personnel de l'aéroport, soit par les mouvements du véhicule. Le décéléromètre devrait être entretenu et étalonné selon les recommandations du fabricant.

3. La vitesse à l'application des freins devrait être d'environ 40 km/h.

4. Techniques de mesure du frottement:

- a) les freins devraient être appliqués avec assez de fermeté pour bloquer les quatre roues, puis relâchés immédiatement. Les roues ne devraient pas être bloquées pendant plus d'une seconde;

- b) le décéléromètre utilisé devrait enregistrer ou conserver la décélération maximale réalisée au cours de l'essai;
- c) les lectures aléatoires anormalement élevées ou basses pourront être omises lors du calcul des valeurs moyennes.

5.3.7 Étant donné que le décéléromètre exige que le véhicule d'essai soit accéléré jusqu'à une vitesse déterminée, ce qui demande une certaine distance, l'intervalle entre deux lectures est nécessairement plus grand que dans le cas d'un dispositif à mesure continue. Ce dispositif ne peut donc être considéré que comme un dispositif à lecture ponctuelle.

5.3.8 Le tableau de la Figure 5-3 est destiné à être utilisé de la manière indiquée dans l'exemple suivant:

Une lecture de 0,45 (point A) avec un skiddomètre BV-11 ou un véhicule de mesure du frottement de surface équivaut, pour les autres véhicules, aux lectures suivantes:

0,42 avec un mumètre (point B);

0,40 avec un véhicule de mesure du frottement sur les pistes (point C);

0,40 avec un tapleymètre (point D);

0,37 avec un brakemètre-dynamomètre (point E).

## 5.4 CORRÉLATION AVEC LES PERFORMANCES D'ARRÊT DES AVIONS

5.4.1 Pour que les données aient un sens en exploitation, il est nécessaire de déterminer, en premier lieu, la corrélation entre les données de frottement fournies par les dispositifs de mesure et les performances de freinage réelles de différents types d'avion. Une fois cette relation établie pour la gamme des vitesses opérationnelles au sol d'un avion donné, l'équipage de conduite de l'avion devrait être en mesure de déterminer la performance d'arrêt de l'avion pour un atterrissage donné en tenant compte des autres facteurs, notamment la vitesse au toucher des roues, le vent, l'altitude-pression et la masse de l'avion, autant de facteurs qui influent sur la performance d'arrêt. À l'heure actuelle, on s'accorde généralement pour dire que, à cet égard, les résultats sont plus satisfaisants lorsqu'il s'agit d'une surface recouverte de neige compactée et/ou de glace, étant donné que, dans ce cas, les paramètres qui affectent le comportement du pneu du point de vue du frottement sont moins nombreux que dans le cas, plus complexe, d'une piste mouillée.

5.4.2 En 1984, les États-Unis ont entrepris la réalisation d'un programme de cinq ans visant à étudier la relation entre la performance de freinage d'un pneu d'avion et les données fournies par un véhicule de mesure du frottement au sol. L'évaluation a été faite dans plusieurs conditions, soit sur une surface sèche, mouillée artificiellement ou mouillée par la pluie, recouverte de neige ou de neige fondante ou de glace. On a utilisé, pour cette étude, le véhicule freiné en diagonale, le dispositif de mesure du frottement sur les pistes, le mumètre, le skiddomètre BV-11, le dispositif de mesure du frottement de surface, ainsi que deux décéléromètres (tapleymètre et brakemètre-dynamomètre). Les résultats de cette évaluation ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation directe entre les données fournies par le véhicule de mesure du frottement et la performance de freinage réelle d'un pneu d'avion sur des surfaces mouillées. Cependant, on est parvenu à un accord sur ce point en utilisant la théorie de l'hydroplanage combiné visqueux-dynamique (voir Appendice 1).

## 5.5 ÉTUDE GÉNÉRALE DES DISPOSITIFS DE MESURE DU FROTTEMENT

5.5.1 Plusieurs dispositifs de mesure du frottement sont en usage aujourd'hui dans le monde. Deux décéléromètres, le tapleymètre et le brakemètre-dynamomètre permettent une vérification ponctuelle des conditions de frottement à la surface d'une piste recouverte de neige compactée et/ou de glace. Les sept dispositifs décrits plus loin (5.6 à 5.12) fournissent une trace permanente et continue des valeurs du frottement, sur une bande d'enregistrement, pour toute la longueur de piste analysée.

5.5.2 Le mode de fonctionnement des dispositifs de mesure continue du frottement varie d'un dispositif à l'autre, mais certains composants de ces appareils fonctionnent de la même manière. Pour les études du frottement aux fins d'un programme d'entretien, ces dispositifs utilisent tous le même pneu de mesure à semelle lisse, de dimensions 4,00 – 8, (16 × 4,0, 6 plis, RL2), conforme à la spécification ASTM E1551, sauf le Grip Tester, qui utilise un pneu lisse de dimensions 10 × 4,5 – 5 conforme à la spécification ASTM 1844. Les pneus de mesure du mumètre sont fabriqués conformément à la spécification ASTM E670, Annexe A2, et utilisés à une pression de gonflage de 70 kPa, tandis que le Grip Tester utilise une pression de 140 kPa. Les cinq autres dispositifs sont dotés de pneus gonflés à 210 kPa. Tous ces appareils utilisent la même échelle de frottement, qui s'étend de 0,00 à 1,00, et ils fournissent tous des moyennes du coefficient de frottement pour chaque section de 150 m de longueur de piste analysée. Il est prescrit de fournir des renseignements sur le frottement moyen pour chaque tiers de la longueur de piste (voir 4.5.5). À l'exception du mumètre et du Grip Tester, les dispositifs de mesure continue du frottement sont dotés, en

option, d'un pneu de mesure à haute pression (gonflé à 700 kPa), de dimensions 4,00 – 8, (16 × 4,0, 6 plis, RL2), présentant soit une semelle sculptée, soit des rainures longitudinales. Ce pneu est utilisé, à des fins opérationnelles, seulement lorsqu'il s'agit de surfaces de piste recouvertes de glace et/ou de neige compactée. Le mumètre, le dispositif de mesure du frottement sur les pistes et le dispositif de mesure du frottement de surface bénéficient d'une autre option sous la forme d'un clavier qui permet à l'opérateur d'enregistrer des instructions, des messages et des notes sur les observations faites au cours de l'opération. Tous ces dispositifs de mesure continue du frottement sont équipés d'un système automouillant qui permet de maintenir une épaisseur d'eau spécifiée en avant du ou des pneus de mesure. Les mesures du frottement peuvent être effectuées à des vitesses pouvant atteindre 130 km/h.

5.5.3 Le succès des mesures du frottement dépend très largement du personnel chargé de faire fonctionner les dispositifs. Une formation professionnelle suffisante sur la conduite et l'entretien des dispositifs ainsi que sur les procédures d'exécution des mesures est essentielle pour assurer l'obtention de données fiables sur le frottement. En outre, une instruction périodique est nécessaire pour revoir et mettre à jour les connaissances acquises et pour certifier que l'opérateur maintient un niveau élevé de compétence. À défaut de ces dispositions, le personnel ne peut conserver le même degré d'expérience et perd le contact avec les nouvelles techniques d'étalonnage, d'entretien et d'utilisation des dispositifs. Il convient de vérifier périodiquement l'étalonnage de tous les dispositifs de mesure du frottement afin de s'assurer qu'il se maintient à l'intérieur des tolérances indiquées par le constructeur. Les dispositifs de mesure dotés de systèmes automouillants devraient être étalonnés périodiquement afin d'assurer que le débit de l'eau demeure à l'intérieur des tolérances du constructeur et que la quantité d'eau produite pour l'épaisseur d'eau prescrite est toujours uniforme et appliquée de façon régulière en avant du pneu ou des pneus de mesure pour toute la gamme des vitesses d'utilisation du véhicule.

## 5.6 MUMÈTRE

5.6.1 Le mumètre est un appareil tracté de 245 kg, conçu pour mesurer un effort latéral de frottement produit entre des pneus de mesure qui passent sur la surface de la chaussée sous un angle de 15 degrés. Les pneus de mesure du mumètre sont fabriqués conformément à la spécification ASTM E670, Annexe A2. L'appareil comprend un châssis triangulaire sur lequel sont montées deux roues de mesure ainsi qu'une roue arrière qui assure la stabilité de la remorque pendant l'opération. La Figure 5-4 montre la configuration générale de la remorque. Une charge verticale de 78 kg est générée au moyen de lest, par l'intermédiaire d'un amortisseur, sur chacune des roues de mesure. Les roues de mesure fonctionnent avec un taux de

glissement apparent de 13,5 %. Le mumètre possède aussi une roue arrière équipée d'un pneu à semelle sculptée, de dimensions 4,00 – 8, (16 × 4,0, 6 plis, RL2), gonflé à 70 kPa. Le mumètre, qui est installé sur remorque, doit être tracté par un véhicule et, s'il faut utiliser un système automouillant, ce véhicule doit être équipé d'un réservoir d'eau destiné à alimenter les buses.

5.6.2 Le capteur de distance est un enregistreur photo-électrique scellé, monté sur la roue arrière de l'appareil. Ce capteur lit les impulsions numériques par paliers de mille impulsions pour chaque révolution de roue, et les transmet, aux fins de calcul, au régulateur de signal chaque fois que l'appareil parcourt un mètre. Le transmetteur d'effort est un transmetteur électronique monté entre les éléments fixes et mobiles du châssis triangulaire. Cet appareil lit les moindres modifications de tension provenant des roues de mesure. Le régulateur de signal est monté sur le châssis et amplifie les données  $\mu$  analogiques reçues du transmetteur d'effort, ainsi que les données numériques provenant du capteur de distance. Les signaux provenant du capteur de distance de la roue arrière fournissent à la fois une mesure de distance et, combinée avec des paliers de temps réel, une mesure de vitesse. L'ordinateur situé dans le véhicule de remorquage est un processeur; il utilise deux microprocesseurs pour afficher, calculer, emmagasiner et traiter les données  $\mu$  reçues du transmetteur d'effort et du capteur de distance (voir Figure 5-5). La figure montre également le clavier qui comporte des touches de commande et de fonction pour choisir des menus. Le processeur fournit un tracé continu des valeurs du frottement pour toute la longueur analysée. L'opérateur dispose de cinq échelles pour les tracés, sur lesquelles 25 mm correspondent à environ 20 m, 40 m, 85 m, 170 m et 340 m, respectivement. On peut utiliser les échelles dilatées pour procéder à une micro-expertise des zones dans lesquelles on soupçonne l'existence de problèmes potentiels.

## 5.7 VÉHICULE DE MESURE DU FROTTEMENT SUR LES PISTES

5.7.1 Le véhicule de mesure du frottement sur les pistes est un break équipé d'une cinquième roue reliée à l'essieu arrière par une transmission à chaîne (voir Figure 5-6); la roue porte un pneu fabriqué conformément à la spécification ASTM E1551. Le véhicule est à traction avant et doté d'un puissant moteur. La roue de mesure est conçue pour fonctionner selon un taux de glissement déterminé de 13 %. Le mode d'essai utilise un transmetteur de force à deux axes qui mesure à la fois la force de traînée et la charge verticale appliquées sur la roue de mesure du frottement. Cette méthode dispense de la nécessité de filtrer les mouvements de débattement du véhicule et les effets de l'usure du pneu, permettant ainsi d'obtenir une mesure instantanée du frottement dynamique. Une charge verticale de 136 kg est produite sur la roue de mesure au moyen de poids montés sur un

ressort d'amortisseur à double effet. Le véhicule est équipé d'un système automouillant et d'un réservoir d'eau.

5.7.2 La vitesse du véhicule et la distance parcourue sont déterminées dans un calculateur numérique à partir des impulsions fournies par un codeur optique. La force de traînée et la charge verticale appliquées sur la roue de mesure sont captées par un transmetteur d'effort à deux axes avec mesure de contrainte et sont amplifiées pour assurer leur introduction dans le calculateur numérique. Ce dernier procède à l'échantillonnage de ces valeurs environ cinq fois pour chaque mètre de déplacement et il calcule le coefficient de frottement dynamique. Le coefficient de frottement, ainsi que la vitesse du véhicule (et, de façon facultative, le débit de l'eau) sont emmagasinés dans la mémoire du calculateur numérique. La Figure 5-7 montre le système de visualisation fluorescent à vide qui affiche tous les menus et toutes les données introduites par clavier. Le clavier permet d'introduire dans le calculateur numérique toutes les fonctions et sélections de menus.

5.7.3 Lorsqu'on procède à une analyse du frottement, les données sont traitées et envoyées à une imprimante pour fournir un enregistrement continu sur bande du coefficient  $\mu$  et de la vitesse. Les valeurs moyennes de  $\mu$  sont imprimées en marge du graphique. La transmission des données se poursuit pendant toute la durée de l'opération, à intervalles appropriés, jusqu'à ce que l'analyse soit enregistrée sur toute sa longueur. L'opérateur dispose de trois échelles, sur lesquelles 25 mm correspondent à environ 30 m, 90 m et 300 m, respectivement.

## 5.8 SKIDDOMÈTRE

5.8.1 Le skiddomètre BV-11 est une remorque équipée d'une roue de mesure du frottement conçue pour fonctionner selon un taux de glissement fixé entre 15 et 17 %, selon la configuration du pneu d'essai; le pneu est fabriqué conformément à la spécification ASTM E1551. La Figure 5-8 montre la remorque de 360 kg. Le dispositif consiste en un châssis soudé à quatre parois supporté par deux roues à suspension indépendante. Les trois roues sont reliées ensemble par des chaînes à rouleaux et des roues dentées avec une démultiplication choisie pour forcer la roue centrale de mesure à tourner avec un mouvement relatif par rapport à la surface, selon le taux de glissement voulu. Une charge verticale de 105 kg s'exerce sur la roue de mesure au moyen d'un poids, par l'intermédiaire d'un ressort et d'un amortisseur. Étant donné qu'il s'agit d'une remorque, le skiddomètre exige l'emploi d'un véhicule. S'il faut prévoir un système automouillant, on installera un réservoir d'eau sur ce véhicule, ainsi qu'une canalisation pour alimenter la buse d'arrosage montée en avant de la roue d'essai sur le skiddomètre BV-11.

5.8.2 Le couple appliqué à la roue de mesure du frottement est mesuré à l'aide d'un transmetteur de couple spécial.

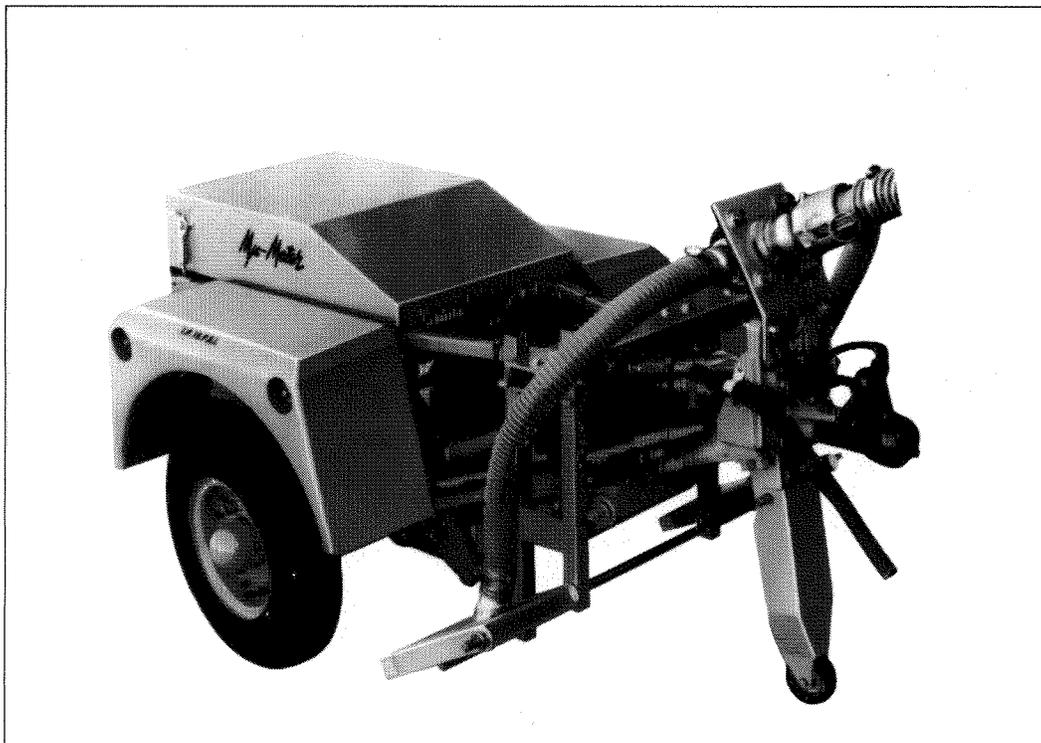


Figure 5-4. Remorque mumètre



Figure 5-5. Processeur et clavier pour remorque mumètre



Figure 5-6. Break utilisé pour le dispositif de mesure du frottement sur les pistes



Figure 5-7. Système d'affichage fluorescent à vide et clavier pour le dispositif de mesure du frottement sur les pistes

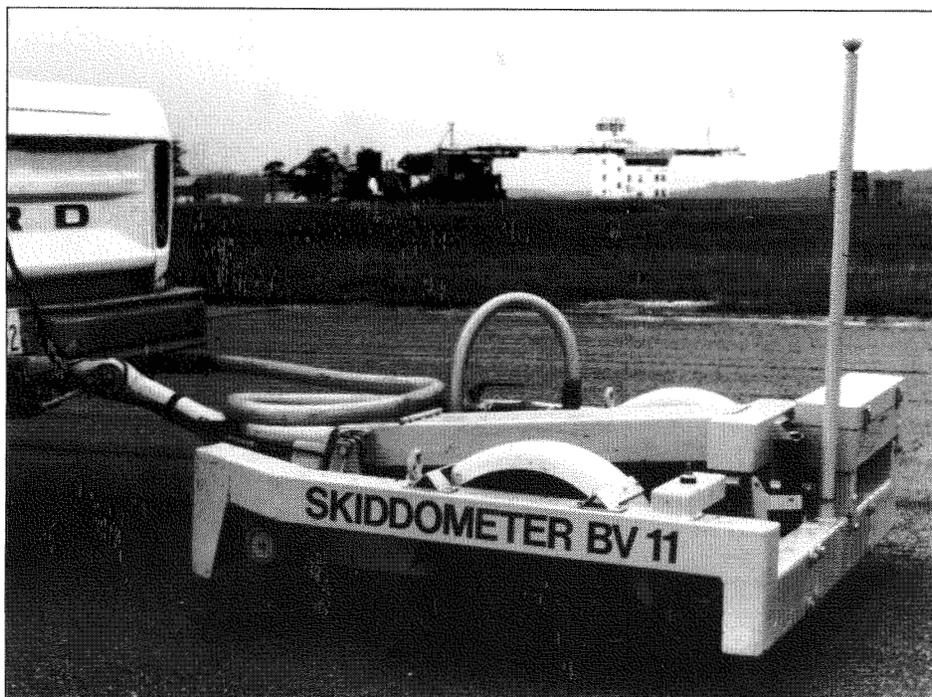


Figure 5-8. Remorque skidomètre BV-11

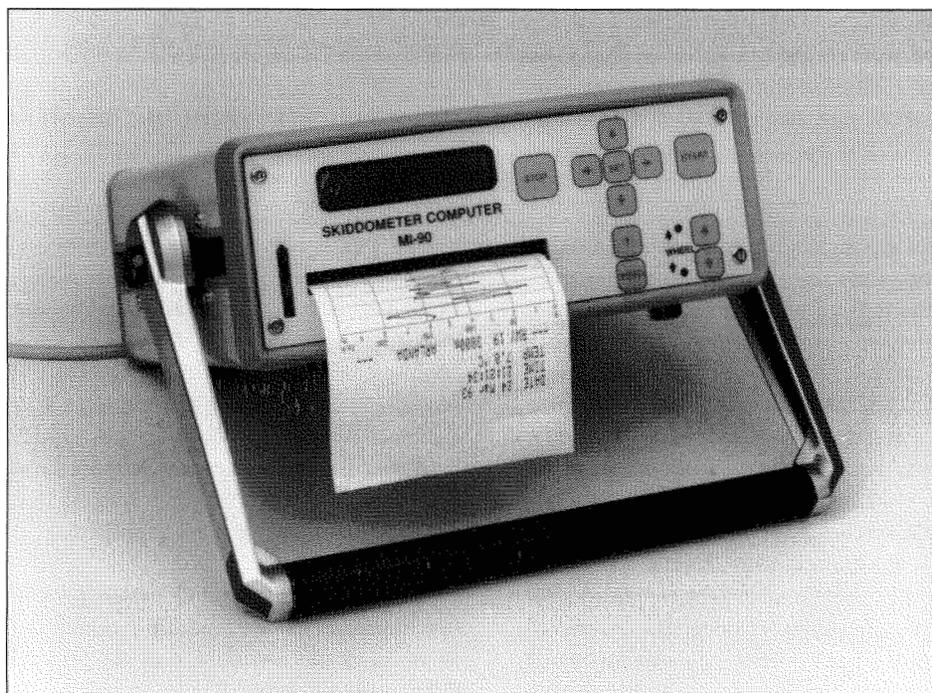


Figure 5-9. Calculateur MI-90 pour skidomètre BV-11

La vitesse de la remorque est mesurée par un générateur tachymétrique entraîné par l'une des chaînes à rouleaux. Un câble installé entre la remorque et le véhicule de remorquage convertit les signaux analogiques à l'entrée d'un enregistreur à bande situé dans le véhicule remorqueur. La Figure 5-9 montre l'ordinateur MI-90 du skiddomètre. Les données recueillies au cours d'une analyse de frottement sont traitées par un calculateur numérique et enregistrées sur bande sous la forme d'un tracé continu des valeurs de frottement pour toute la longueur analysée. L'opérateur dispose de quatre échelles pour mesurer la distance sur la bande, sur lesquelles 25 mm correspondent à environ 112 m, 225 m, 450 m et 900 m, respectivement.

### 5.9 VÉHICULE DE MESURE DU FROTTEMENT DE SURFACE

5.9.1 Le véhicule de mesure du frottement de surface se présente sous la forme d'une automobile qui utilise une cinquième roue, située dans le coffre, pour mesurer le coefficient de frottement (voir Figure 5-10); cette roue porte un pneu fabriqué conformément à la spécification ASTM E1551. L'automobile est une traction avant; un moteur à turbocompresseur est disponible en option. La roue de mesure du frottement est conçue de manière à fonctionner selon un taux de glissement déterminé compris entre 10 et 12 %, selon le type de pneu utilisé lors de l'analyse. Cette roue est reliée à l'essieu des roues arrières à roulement libre au moyen d'une transmission à chaîne et elle est rétractable par action hydraulique. Une charge verticale de 140 kg est appliquée au moyen d'un poids, par l'intermédiaire d'un ressort et d'un amortisseur, sur la roue de mesure. Le véhicule est équipé d'un système automouillant et d'un réservoir d'eau monté du côté du siège arrière.

5.9.2 Le couple qui agit sur la roue de mesure et la distance parcourue sont introduits dans un calculateur numérique où l'information est convertie sous forme de coefficient. Le courant électrique qui circule, en passant par les jauges de contrainte, à l'intérieur du capteur de couple situé sur la roue de mesure est affecté par toute modification intervenant dans la tension de la chaîne de transmission. Par conséquent, toute variation dans les efforts de frottement est suivie par le calculateur numérique qui mesure ces variations de courant et convertit les signaux analogiques en valeurs du coefficient de frottement. Les valeurs de  $\mu$  sont continuellement emmagasinées dans le calculateur numérique et, dès la fin de l'analyse, elles sont enregistrées sur bande, sous la forme d'un tracé continu des valeurs de  $\mu$  pour toute la longueur de chaussée analysée. Les vitesses utilisées au cours de l'essai, de même que les données permettant de l'identifier, sont également consignées sur la bande d'enregistrement. L'échelle permettant de mesurer la distance sur la bande d'enregistrement est telle que 25 mm correspondent à 100 m. L'opérateur peut disposer d'un clavier en option.

### 5.10 GRIP TESTER

5.10.1 Le Grip Tester est une remorque légère à trois roues transportant un dispositif de mesure du frottement fonctionnant suivant le principe roue freinée, taux de glissement fixe. Il est doté d'une roue de mesure unique munie d'un pneu lisse fabriqué conformément à la spécification ASTM E1844. La roue est montée sur un essieu équipé pour mesurer à la fois la traînée et la charge verticale. Le frottement dynamique est calculé à partir des mesures obtenues, puis transmis à un ordinateur de collecte de données qui, en utilisation normale, se trouve à bord de la cabine du véhicule de remorquage. Cet ordinateur calcule et mémorise la vitesse de mesure pour chaque lecture de frottement sur 10 m.

5.10.2 La valeur moyenne du frottement pour chaque tiers de la piste est affichée par l'ordinateur sur une «carte» schématique de la piste. Une fois l'analyse terminée, les moyennes sur la largeur et la longueur de la piste sont affichées. Les résultats peuvent être imprimés sur-le-champ ou emmagasinés dans une base de données.

5.10.3 Pour l'entretien, des données emmagasinées dans une base facilitent les comparaisons entre les résultats de différentes analyses ainsi que la détection rapide de toute tendance vers une réduction du frottement. Pour l'exploitation, l'ordinateur peut produire un SNOWTAM ou un NOTAM complet. Le Grip Tester est illustré à la Figure 5-11.

### 5.11 VÉHICULE DE MESURE DU FROTTEMENT TATRA

5.11.1 Le véhicule de mesure du frottement Tatra, qui est illustré à la Figure 5-12, est une voiture automobile équipée d'une cinquième roue permettant de mesurer le coefficient de frottement; actionnée à l'énergie hydraulique, cette roue, située dans la zone de la banquette arrière, porte un pneu fabriqué conformément à la spécification ASTM E1551. La voiture est propulsée par un moteur à 8 cylindres en V à refroidissement par air développant 220 HP (moteur de 300 HP en option) monté au-dessus de l'essieu moteur (arrière). Le véhicule est doté de deux réservoirs d'eau et d'un système d'arrosage. La charge verticale sur la roue de mesure peut être réglée de 25 à 145 kg.

5.11.2 Le dispositif de mesure peut être programmé pour fonctionner en mode de mesure continue du frottement (CFME) ou en mode de mesure à taux de glissement variable, automatiquement ou manuellement. En mode CFME, la roue d'essai peut être freinée suivant un taux de glissement compris entre 0 et 60 % de la vitesse avant. L'effet de freinage d'avion est simulé en utilisant le mode de mesure à taux de glissement variable, qui permet une augmentation réglable du taux de glissement en



Figure 5-10. Véhicule de mesure du frottement de surface

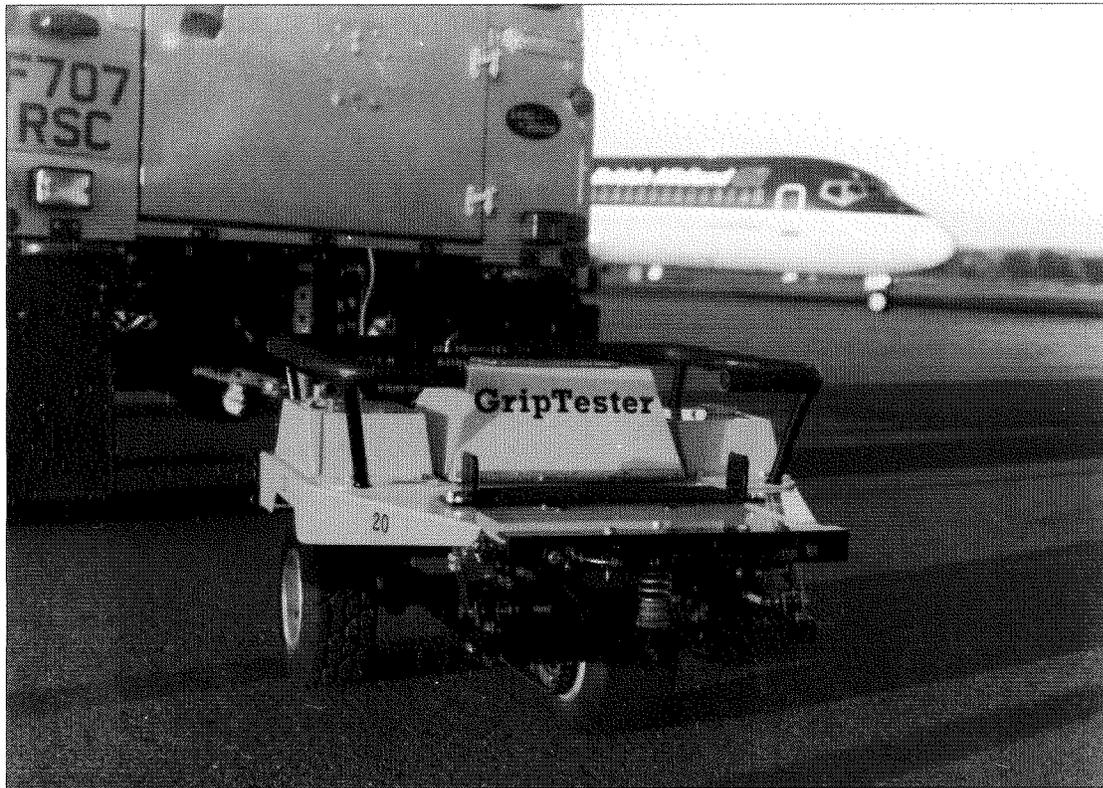


Figure 5-11. Grip Tester

fonction du temps (distance) et de la valeur, de 0 % jusqu'au maximum requis, à concurrence de 99 %. Le coefficient de frottement de la surface est évalué à partir de la vitesse avant du dispositif, de la distance mesurée, des caractéristiques de la surface et du taux de glissement de la roue. Ces données sont mesurées et recueillies par le capteur de vitesse du moteur, le capteur de vitesse à induction du générateur d'eau et un capteur situé sur la roue avant gauche qui mesure la vitesse avant du véhicule et la distance.

5.11.3 L'équipement de contrôle est composé d'un ordinateur, de trois microprocesseurs, d'un visuel et d'une imprimante ainsi que de circuits d'étalonnage et de diagnostic automatiques.

## 5.12 ANALYSEUR-ENREGISTREUR DE PISTE (RUNAR)

5.12.1 L'analyseur-enregistreur de piste standard est une remorque équipée du dispositif de mesure du frottement RUNAR de base. Il s'agit d'un dispositif à freinage hydraulique qui utilise

une roue d'essai dotée d'un pneu fabriqué conformément à la spécification ASTM E1551. Le dispositif de base mesure 90 cm de hauteur sur 45 cm de largeur sur 80 cm de longueur et pèse environ 100 kg. Le poids total de l'ensemble remorqué est de 400 kg. Il existe une variante que l'on peut fixer au côté d'un camion d'entretien, qui pèse environ 150 kg. L'ensemble remorqué standard est illustré à la Figure 5-13. Les capteurs de mesure, situés sur le frein hydraulique, fournissent des données en continu, qui sont collectées, traitées, emmagasinées et affichées à l'opérateur par l'ordinateur de traitement de données. L'instrumentation, placée dans le véhicule, est constituée d'un panneau de commande à écran tactile et d'une imprimante graphique à rouleau de 10 cm ou d'une imprimante couleur A4. Le RUNAR peut être utilisé jusqu'à une vitesse de 130 km/h. Les mesures peuvent être prises au-dessus de 20 km/h.

5.12.2 Le RUNAR peut fonctionner en mode de mesure continue du frottement (CFME) ou en mode de mesure à taux de glissement variable. Dans le mode CFME, le taux de glissement constant de la roue de mesure peut être réglé à n'importe quel pourcentage compris entre 5 % et 100 %. Dans le mode de mesure à taux de glissement variable, l'essai est exécuté en serrant le frein de la roue de l'état «roue libre» à l'état «roue



Figure 5-12. Véhicule de mesure du frottement Tatra

bloquée» sur la surface de la piste et en mesurant la force de frottement en freinage que la surface de la piste exerce contre la roue freinée.

5.12.3 L'ordinateur du RUNAR peut être configuré de manière à produire des moyennes pour n'importe quelle longueur de chaussée mesurée. Il peut aussi produire des moyennes pour chaque tiers ou pour la longueur totale de la piste. L'ordinateur collecte et emmagasine les renseignements suivants:

- a) force de frottement en freinage;
- b) vitesse de rotation de la roue de mesure et vitesse du véhicule remorqueur;
- c) température ambiante à environ 20 cm au-dessus de la surface de la piste.

Toutes les données mesurées sont emmagasinées dans un fichier pour chaque mission de mesure. Comme mesure de sauvegarde, les données sont aussi mémorisées sur une disquette.

### 5.13 DÉCÉLÉROMÈTRES

#### *Généralités*

5.13.1 Les renseignements fournis par les décéléromètres sont les plus fiables lorsque les surfaces de chaussée analysées sont recouvertes de neige compactée et/ou de glace. Ces appareils ne devraient pas être utilisés sur des surfaces de chaussée mouillées et on ne devrait procéder à aucun essai lorsque ces surfaces sont recouvertes d'une couche de neige sèche ou fraîchement tombée de plus de 51 mm d'épaisseur ou d'une couche de neige fondante de plus de 13 mm d'épaisseur.

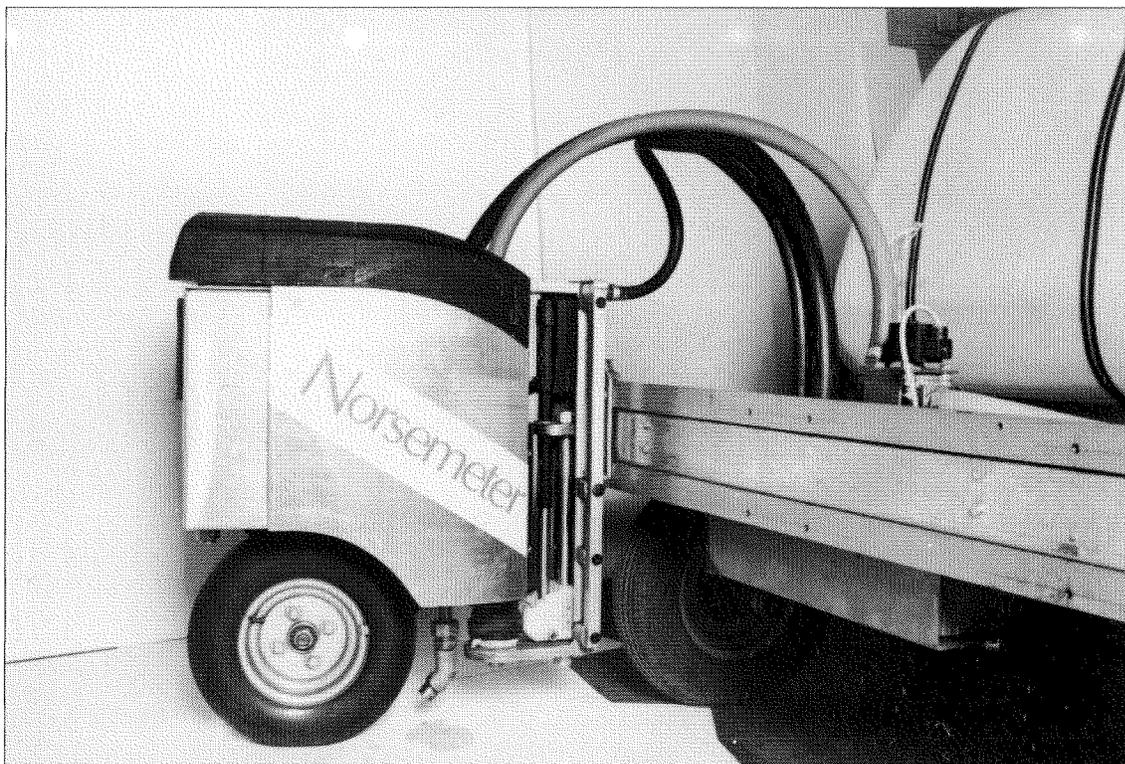


Figure 5-13. Analyseur-enregistreur de frottement de piste RUNAR

5.13.2 Étant donné que les décéléromètres doivent être installés à l'intérieur d'un véhicule, ce dernier doit répondre à certaines exigences pour faire en sorte que les mesures obtenues soient fiables et uniformes. On pourrait utiliser une automobile de grande taille ou de taille intermédiaire, un break, une camionnette utilitaire ou encore une fourgonnette; le véhicule sera à traction avant ou à traction sur les quatre roues et pourrait être doté d'un système de freinage antiblocage (ABS) sur l'essieu arrière.

5.13.3 Les pneus montés sur le véhicule peuvent avoir une incidence non négligeable sur les mesures du frottement. L'usure des sculptures ne devrait donc pas dépasser 50 % et la pression de gonflage devrait toujours être maintenue à un chiffre conforme aux spécifications du fabricant.

5.13.4 Les freins du véhicule devraient toujours être convenablement réglés pour garantir un effet équilibré. Ils ne devraient présenter qu'une tendance minimale à piquer, ainsi qu'une stabilité directionnelle satisfaisante en cours de freinage.

5.13.5 L'appareil devrait être installé dans le véhicule selon les instructions du fabricant et fixé de manière à ne pas se déplacer sous l'effet des mouvements du véhicule. Il devrait

aussi être entretenu et étalonné selon les recommandations du fabricant.

5.13.6 Il est nécessaire de procéder à un certain nombre de lectures pour obtenir une évaluation raisonnable de l'état de la surface de piste. La piste est divisée, sur toute sa longueur, en trois parties égales — la zone de toucher des roues, la zone médiane et la zone de roulement. Sur chacune de ces zones, on devrait procéder à au moins trois essais à la vitesse de 35 km/h et on devrait déterminer un coefficient  $\mu$  moyen. Les coefficients moyens sont toujours enregistrés dans la même direction d'atterrissage.

5.13.7 Les opérations de mesure du frottement devraient être exécutées selon la procédure suivante:

- a) les freins devraient être serrés avec assez de fermeté pour bloquer les quatre roues, puis desserrés immédiatement. Le temps pendant lequel les roues sont bloquées ne devrait pas dépasser une seconde;
- b) le décéléromètre utilisé devrait enregistrer ou conserver la force de freinage correspondant à la décélération maximale réalisée au cours de l'essai;

- c) les chiffres anormalement élevés ou anormalement bas pourront être omis lors du calcul des valeurs moyennes.

5.13.8 Étant donné que les décéléromètres exigent d'accélérer le véhicule d'essai jusqu'à une vitesse donnée, ce qui demande une distance de roulement déterminée, l'intervalle entre deux lectures est nécessairement plus grand que dans le cas d'un dispositif à mesure continue. On peut donc considérer ces appareils uniquement comme des dispositifs à lecture ponctuelle.

#### **Brakemètre-dynamètre**

5.13.9 Le brakemètre-dynamètre consiste en un pendule finement équilibré, libre de réagir à toute modification de vitesse et d'angle, fonctionnant de manière à faire tourner une aiguille autour d'un cadran en faisant appel à un train d'engrenages (voir Figure 5-14). Le cadran est étalonné en pourcentage de «g», norme acceptée pour la mesure de l'accélération et de la décélération. Afin de neutraliser toute vibration, l'instrument est

rempli d'un fluide qui n'est pas sensible aux changements de température. L'appareil, qui exige un véhicule pour le transport, devrait toujours être utilisé avec un support monté sur le plancher. Il devrait être employé seulement sur des surfaces de piste recouvertes de glace et/ou de neige compactée. Il n'est pas recommandé de l'utiliser sur les surfaces de chaussée mouillées. Les procédures à suivre pour les opérations de mesure du frottement sont indiquées en 5.13.7.

#### **Tapleymètre**

5.13.10 Il existe deux versions du tapleymètre sur le marché: le tapleymètre original (décéléromètre mécanique standard) et le dispositif électronique Tapley pour la mesure du frottement sur les aérodromes. Ces deux dispositifs exigent un véhicule pour le transport et il est recommandé de les utiliser seulement sur les surfaces de piste recouvertes de neige compactée et/ou de glace. Leur utilisation n'est pas recommandée sur des surfaces de chaussée mouillées.

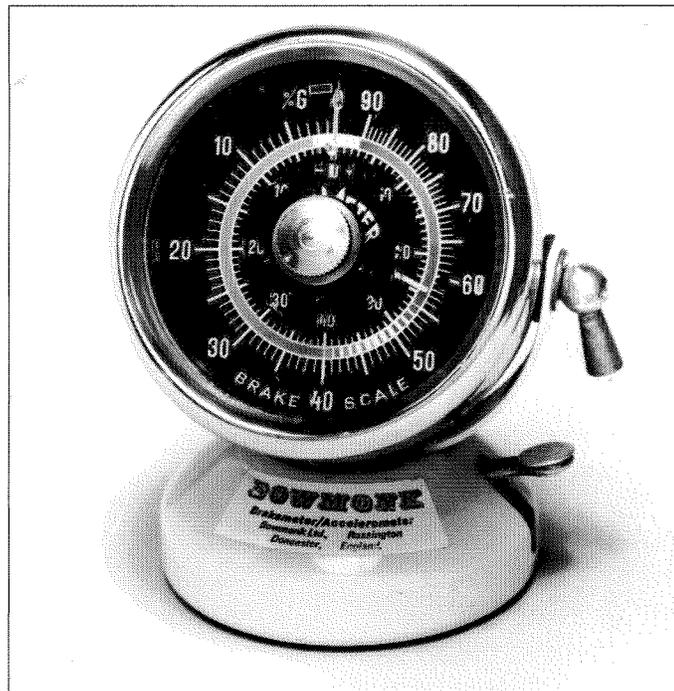


Figure 5-14. Brakemètre-dynamètre

5.13.11 *Décéléromètre mécanique.* La version mécanique du dispositif est un petit décéléromètre fonctionnant selon le principe du pendule, qui consiste en un pendule à amortissement hydraulique, étalonné dynamiquement et installé dans un compartiment étanche (voir Figure 5-15). Le pendule est relié magnétiquement à un système d'engrenages léger auquel est fixée une échelle circulaire graduée en pourcentages de «g». Une petite roue à rochet maintient l'échelle à la déflexion maximale atteinte à la fin d'un test. Le mécanisme est enfermé dans un compartiment en aluminium muni d'un panneau transparent pour permettre la lecture. L'ensemble de l'appareil est monté sur une base coulée par l'intermédiaire d'un support à fourche. Chaque appareil est vérifié de manière statique et étalonné dynamiquement avant de recevoir un certificat d'étalonnage. Lorsque l'appareil est utilisé pour une analyse du frottement, il est placé sur le plancher du véhicule. L'opérateur doit interpréter visuellement et enregistrer les données recueillies et les moyennes sont calculées mentalement et enregistrées pour chaque tiers de la piste. Les procédures à suivre pour les opérations de mesure du frottement sont indiquées en 5.13.7.

5.13.12 *Décéléromètre électronique.* Le dispositif électronique Tapley pour la mesure du frottement sur les aérodromes fournit un enregistrement des données recueillies au cours d'une analyse du frottement, notamment des moyennes obtenues pour chaque tiers de la piste (voir Figure 5-16). L'appareil est un décéléromètre enregistreur semi-automatique, activé par un pendule, qui fonctionne sur les mêmes principes que le décéléromètre mécanique Tapley original. Lorsqu'il se dispose à effectuer une analyse du frottement, l'opérateur place l'appareil sur le plancher du véhicule d'essai. Le patin de manœuvre est adapté à la pédale de frein et le module de commande est fixé au pare-brise du véhicule, au moyen d'une ventouse, devant le conducteur ou en tout autre emplacement facilement visible pour l'opérateur. Les fils d'alimentation électrique sont reliés soit à la batterie du véhicule, soit à une batterie séparée. Le système électronique est vérifié en usine en regard du système Tapley standard. Ces appareils ne devraient être utilisés que sur des surfaces de piste recouvertes de glace et/ou de neige compactée. Les procédures à suivre pour les opérations de mesure du frottement sont indiquées en 5.13.7.

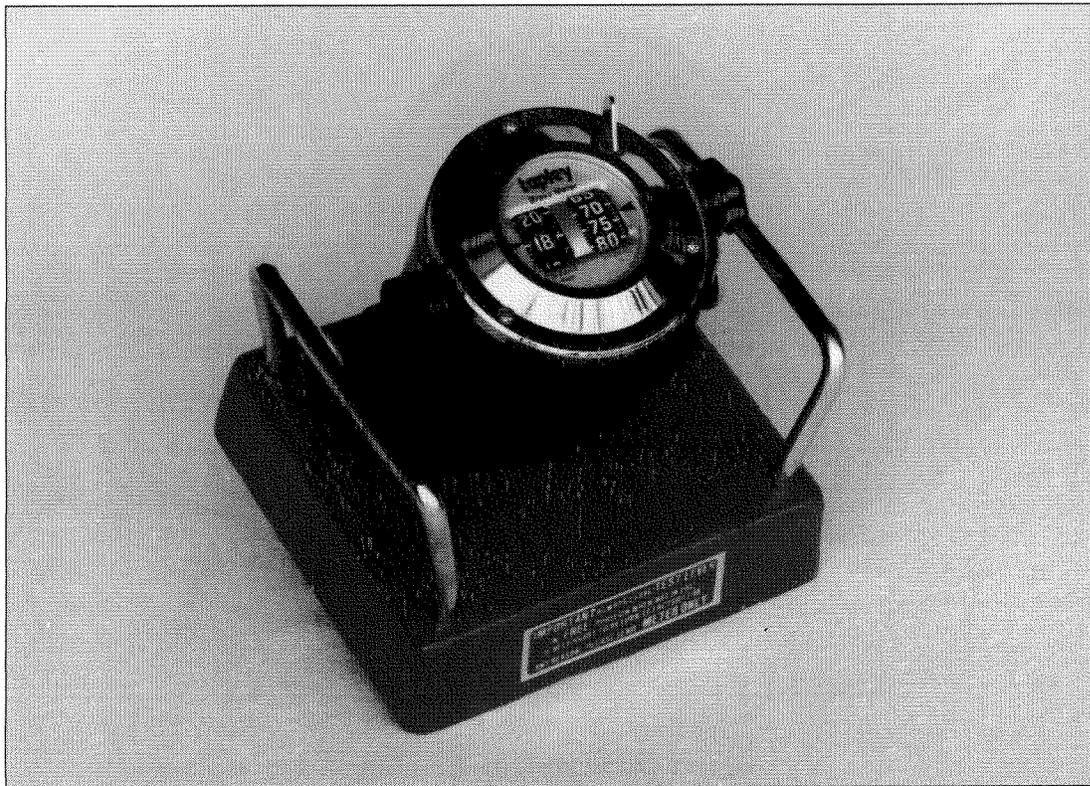


Figure 5-15. Dispositif mécanique standard Tapley

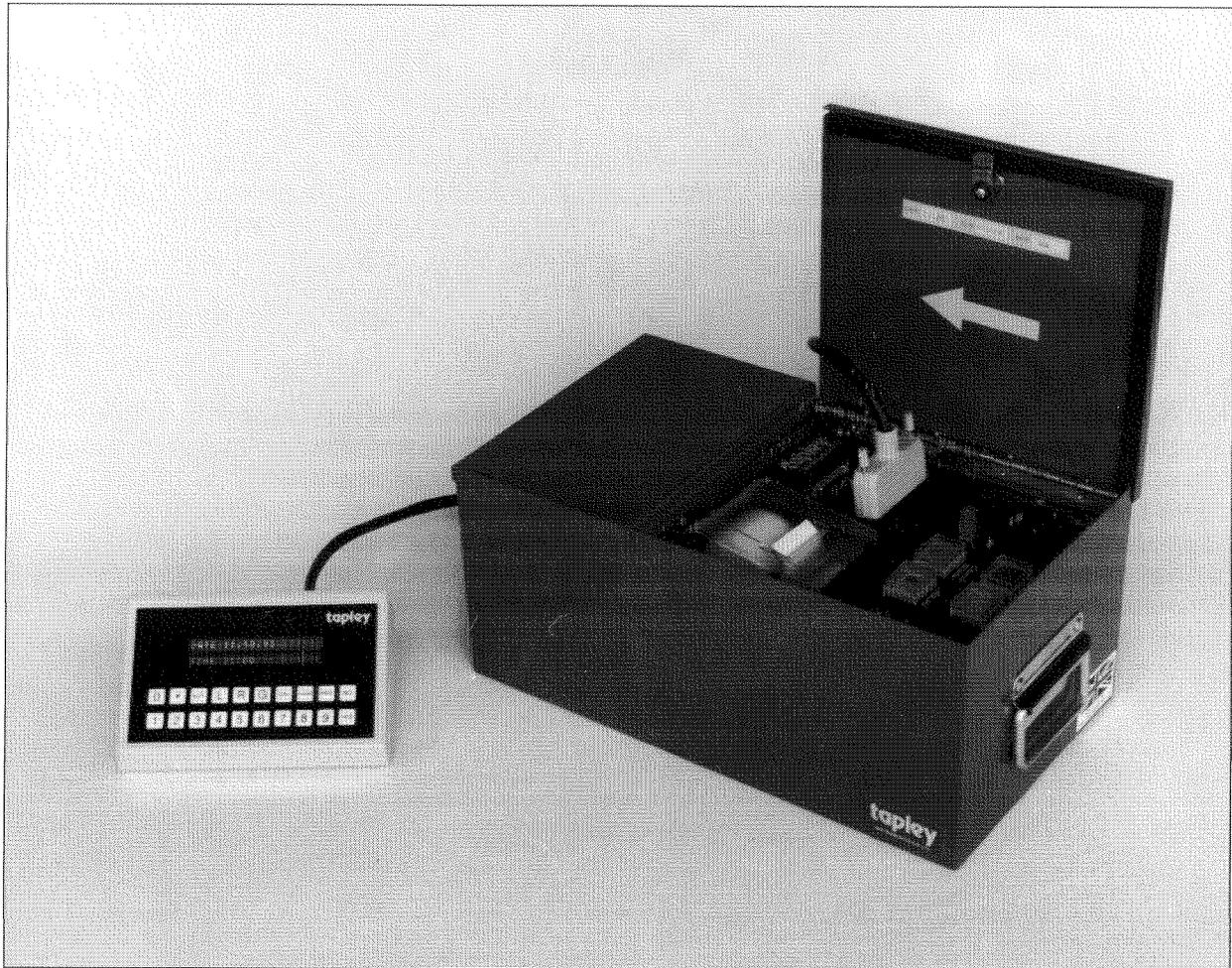


Figure 5-16. Dispositif électronique Tapley pour la mesure du frottement sur les aérodromes



## Chapitre 6

### Collecte et diffusion de renseignements sur l'état de la surface des chaussées

#### 6.1 GÉNÉRALITÉS

6.1.1 Comme il est prévu en 2.9 de l'Annexe 14, Volume I, Chapitre 2, les services compétents doivent évaluer l'état des chaussées chaque fois qu'il n'a pas été possible de les nettoyer entièrement et communiquer ce renseignement aux organismes appropriés de l'aéroport. De plus, aux termes de 5.1.1.1 r) de l'Annexe 15, les États doivent émettre un NOTAM qui notifie l'existence, l'élimination ou la modification appréciable de conditions dangereuses dues à la présence de neige, de neige fondante, de glace ou d'eau sur l'aire de mouvement. Ce renseignement peut être communiqué au moyen d'un SNOWTAM (Figure 6-1).

6.1.2 Les spécifications d'un système efficace de collecte et de diffusion de renseignements sur l'état des chaussées peuvent être définies comme il est décrit ci-dessous (on admet qu'il n'est pas toujours possible de conserver les chaussées propres et sèches).

6.1.3 Avant de décoller ou d'atterrir, le pilote doit avoir des renseignements sur l'état général de l'aéroport, de ses aides et de ses installations opérationnelles. Dans de nombreux cas, une combinaison défavorable de la distance d'atterrissage ou de décollage disponible, des composantes de vent arrière ou de vent traversier, de la visibilité et du coefficient de frottement peut empêcher un décollage ou un atterrissage.

6.1.4 Afin de permettre aux exploitants d'avions et aux pilotes d'utiliser et d'interpréter sans difficulté les renseignements reçus, il importe que ces renseignements et leur présentation soient normalisés. De plus, les comptes rendus doivent être énoncés de manière positive et être aussi complets que possible. Ils font donc intervenir un grand nombre d'éléments, d'où la nécessité d'employer un code normalisé si l'on veut faire un usage rationnel des moyens de télécommunications, en particulier lorsque des conditions météorologiques critiques affectent une vaste région, et faciliter une mise à jour rapide des renseignements.

6.1.5 La collecte des données doit être rapide, complète et précise, et cette précision exige l'emploi d'aides ou d'instruments spéciaux pour la mesure des différents paramètres de façon à éviter les jugements subjectifs.

6.1.6 Les renseignements doivent être transmis rapidement, régulièrement et en temps voulu, c'est-à-dire que, pour être utiles, ils doivent être à jour et parvenir à temps au pilote. Cette condition est particulièrement importante du fait que la plupart de ces renseignements sont inévitablement de nature éphémère.

6.1.7 Le *Manuel des services d'information aéronautique* (Doc 8126), Chapitres 4 et 5 et Appendice A, donne des éléments indicatifs sur la notification, au moyen des NOTAM et des publications d'information aéronautique (AIP), des mesures prises pour maintenir un aéroport dans un état satisfaisant pour l'exploitation, suivant les spécifications de l'Annexe 15 [5.1.1.1 g) et r), 5.3.3, 5.3.7, 7.1.1.2 a), 8.1.2.1, ainsi que AD 1.1 5) et AD 1.2.2 3) et 4) de l'Appendice 1, ainsi que l'Appendice 2]. L'Appendice H du Manuel AIS donne aussi un exemple du type de renseignements qu'un État doit publier dans les NOTAM de seconde classe et dans les AIP.

6.1.8 Il est essentiel que des dispositions soient prises pour faire en sorte que chacun des services nationaux associés à l'exploitation des avions fournisse, en temps utile, les renseignements nécessaires au service d'information aéronautique. Avant d'apporter des modifications au système de navigation aérienne, les services responsables de ces modifications devront tenir compte du temps dont devra disposer le service d'information aéronautique pour assurer la préparation, la production et la diffusion des éléments à publier. Il est par conséquent nécessaire de prévoir une coordination étroite entre les services intéressés, y compris le service d'information aéronautique, pour faire en sorte que ce dernier reçoive, en temps utile, les renseignements voulus.

#### 6.2 RENSEIGNEMENTS CONCERNANT L'ÉTAT DES SURFACES MOUILLÉES

6.2.1 La piste devrait être périodiquement soumise à des essais visant à s'assurer que ses caractéristiques de frottement sont supérieures à un niveau acceptable. En outre, les pistes dont les caractéristiques de frottement sont inférieures au niveau minimal admissible devraient être identifiées et les pilotes



devraient en être informés. À cette fin, les États devraient publier dans les AIP les critères qu'ils utilisent pour évaluer les caractéristiques de frottement de la surface des pistes. Les renseignements suivants devraient être fournis: type de dispositif de mesure utilisé et niveau minimal acceptable spécifié par l'État.

6.2.2 Un NOTAM devrait être publié chaque fois que les caractéristiques de frottement à la surface de la piste ne correspondent pas au niveau minimal acceptable spécifié par l'État. Le NOTAM devrait continuer à être publié jusqu'au moment où des mesures correctives auront été prises par l'État. Des arrangements peuvent être pris par l'État pour assurer l'échange direct de SNOWTAM entre aérodomes.

6.2.3 Outre les vérifications périodiques des caractéristiques de frottement sur une piste, dont il est question en 6.2.1, des mesures supplémentaires devraient être effectuées lorsque surviennent des conditions inhabituelles en présence desquelles une piste est réputée devenir glissante. Des renseignements sur les caractéristiques de frottement à la surface de la piste seront communiqués aux organismes appropriés lorsque ces mesures supplémentaires révèlent que la piste, où une partie de celle-ci, est devenue glissante.

### 6.3 RENSEIGNEMENTS CONCERNANT L'ÉTAT DES SURFACES RECOUVERTES DE NEIGE, DE NEIGE FONDANTE OU DE GLACE

6.3.1 La planification à long terme et à moyen terme exige que les exploitants d'avions soient en mesure d'évaluer le degré de régularité de l'exploitation sur lequel ils peuvent compter à un aéroport donné, en hiver. De leur côté, les administrations aéroportuaires doivent définir les paramètres qui servent leurs propres fins. L'État et les administrations aéroportuaires doivent, par conséquent, faire un exposé clair et précis de leurs intentions en ce qui concerne:

- l'attribution des responsabilités;
- les méthodes de dégagement des chaussées (y compris les produits chimiques utilisés, le cas échéant);
- l'équipement à utiliser;
- l'ordre des priorités pour le dégagement des chaussées;
- les méthodes de mesure;
- le tableau des coefficients de frottement pour les surfaces recouvertes de neige ou de glace;
- les méthodes d'amélioration des caractéristiques de frottement;

- les critères employés pour signaler la présence de congères;
- les données disponibles et les procédures de diffusion;
- les pratiques locales qui diffèrent des pratiques nationales.

Ces renseignements, qui proviennent à la fois de l'État et des administrations aéroportuaires, devraient être disponibles sous la forme d'un plan.

6.3.2 Certaines de ces données ont un caractère permanent, tandis que d'autres sont susceptibles de varier d'une saison à l'autre. Lorsque les administrations aéroportuaires établissent leurs plans, elles doivent également consulter les usagers de l'aéroport (et les organismes des services de la circulation aérienne lorsque ceux-ci ne relèvent pas directement de l'administration aéroportuaire), en veillant tout particulièrement à faciliter l'accès aux pistes pour les équipes de déneigement et de mesure des caractéristiques de frottement.

#### *Procédures de collecte des données*

6.3.3 Il existe de nombreuses méthodes permettant d'assurer l'acheminement des renseignements depuis la piste jusqu'au point de diffusion par les différents moyens de communication et, finalement, jusqu'au pilote, mais il est impossible de considérer l'une quelconque de ces méthodes comme étant plus efficace que les autres. Il est facile néanmoins de dégager les éléments essentiels d'un système efficace. L'administration aéroportuaire devrait être responsable de l'exécution des diverses mesures requises et de la communication de l'état des chaussées aux organes de diffusion, généralement les organismes des services de la circulation aérienne et les services d'information aéronautique (AIS). Pour ce faire, il est nécessaire de former une équipe chargée de recueillir des données (laquelle peut d'ailleurs s'acquitter d'autres fonctions à d'autres moments), de la doter de bons instruments et de l'entraîner convenablement, de façon qu'elle puisse être rapidement alertée et mise à pied d'œuvre, que le travail soit effectué rapidement et avec précision et que ces activités soient coordonnées avec les exigences des services de la circulation aérienne et des équipes de déneigement. L'expérience a montré que le délai le plus long dans la diffusion des comptes rendus s'écoule entre l'heure de la mesure et l'heure de dépôt du NOTAM ou du SNOWTAM. C'est pourquoi la mesure devrait être effectuée de sorte que l'élément le plus éphémère, à savoir le coefficient de frottement à la surface, soit le dernier élément recueilli. Les données doivent toutes être centralisées dans un même local situé à l'aéroport, transcrites dans la forme appropriée en vue d'être transmises dans le moindre délai, puis diffusées sur la voie appropriée de télécommunications. Ce dernier point signifie invariablement que les renseignements doivent être présentés sous deux formes

au moins: l'une à l'intention des organismes locaux des services de la circulation aérienne et des bureaux de briefing locaux (AIS), et l'autre, pour l'établissement du briefing avant le vol (et, si possible, pour les compléments d'information en route) au bénéfice des vols à destination de l'aéroport.

6.3.4 Il arrive souvent que l'horaire soit imposé par la nécessité de fournir des renseignements pour les vols à destination de l'aéroport, une heure avant le décollage de l'aéroport de départ. En outre, les progrès techniques aidant, et quand les renseignements sont destinés aux organismes locaux des services de la circulation aérienne, l'administration aéroportuaire peut se dégager de sa responsabilité en ce qui concerne la collecte de certains éléments en faisant en sorte qu'ils soient recueillis automatiquement, d'une manière continue et transmis directement au bureau du contrôleur (de la même manière que les indications de vitesse et de direction du vent). De même, on peut envisager d'employer des techniques radio ou même télé-métriques pour transmettre les renseignements depuis la piste jusqu'au point de centralisation ou jusqu'au contrôleur. Naturellement, l'organisation doit être telle qu'une couverture suffisante soit assurée pour toute la période d'ouverture de l'aéroport et que, en outre, les mesures puissent être répétées à intervalles fréquents, souvent même toutes les demi-heures, afin de tenir compte des variations sensibles qui peuvent affecter les facteurs les plus critiques pendant de très courts laps de temps. Enfin, les renseignements doivent pouvoir être facilement interprétés, tant au bureau de briefing que dans le poste de pilotage, ce qui suppose un système de déchiffrement simple et rapide et une présentation finale en langage clair.

## 6.4 IMPRIMÉ SNOWTAM

6.4.1 L'imprimé SNOWTAM sert à communiquer des renseignements sur la présence de neige, de neige fondante, de glace ou d'eau stagnante sur l'aire de mouvement (Figure 6-1). Afin d'en faciliter l'établissement, un texte succinct comportant des notes explicatives est publié en association avec cet imprimé (6.4.3). Ces notes comprennent notamment des renseignements sur:

- a) la période maximale de validité du SNOWTAM;
- b) les modifications des conditions à la surface de la piste jugées suffisamment importantes pour exiger la diffusion d'un nouveau SNOWTAM;
- c) l'inscription de la mention XX à la case G (épaisseur moyenne sur chaque tiers de la longueur totale de la piste) si cette valeur n'est pas mesurable ou si elle ne présente pas d'intérêt du point de vue de l'exploitation;

- d) les abréviations utilisées pour indiquer le type de dispositif de mesure dont il est question à la case H;
- e) l'indication à la case T du pourcentage de recouvrement de la piste par des dépôts et des conditions qui existent sur la partie non déblayée de la piste.

6.4.2 On trouvera en 6.4.3 et 6.4.4 des indications détaillées sur la façon de remplir les SNOWTAM, un exemple d'imprimé dûment rempli et un exemple de message téléimprimé correspondant.

6.4.3 Le texte ci-après donne des indications sur la manière de remplir l'imprimé SNOWTAM.

### 1. Généralités

- a) Lorsque les renseignements portent sur deux ou trois pistes, répondre à nouveau aux cases C à P.
- b) Les cases, y compris l'indicatif de rubrique, doivent être omises complètement lorsqu'il n'y a pas d'information à y inclure.
- c) Il faut utiliser les unités métriques, sans indiquer l'unité de mesure.
- d) La validité maximale du SNOWTAM est de 24 heures. Un nouveau SNOWTAM doit être diffusé chaque fois qu'un changement significatif intervient dans les conditions. Les modifications énumérées ci-après, en ce qui concerne les conditions à la surface des pistes, sont jugées significatives:
  - 1) une modification d'environ 0,05 de la valeur du coefficient de frottement;
  - 2) des modifications de l'épaisseur du dépôt supérieures à: 20 mm pour la neige sèche; 10 mm pour la neige mouillée; 3 mm pour la neige fondante;
  - 3) une modification de 10 % ou plus de la longueur ou de la largeur utilisable d'une piste;
  - 4) toute modification du type de dépôt ou de son étendue qui exige une nouvelle classification dans la case F ou T du SNOWTAM;
  - 5) si des congères critiques se trouvent d'un seul côté ou de part et d'autre de la piste, toute modification de leur hauteur ou de leur distance par rapport à l'axe de piste;

- 6) toute modification affectant la visibilité du balisage lumineux de la piste, par suite de l'obscurcissement des feux;
- 7) toutes autres conditions réputées significatives, d'après l'expérience ou les conditions locales.
- e) L'en-tête abrégé «TTAAiiii CCCC MMYYGgg (BBB)» est inséré pour faciliter le traitement automatique des messages SNOWTAM dans les banques de données informatisées. L'explication de ces symboles est la suivante:

TT = désignateur de données SNOWTAM = SW;

AA = désignateur géographique des États, par exemple LF = France, EG = Royaume-Uni [voir *Indicateurs d'emplacement* (Doc 7910), 2<sup>e</sup> Partie – Index des lettres de nationalité pour les indicateurs d'emplacement];

iiii = numéro de série du SNOWTAM exprimé par un groupe à 4 chiffres;

CCCC = indicateur d'emplacement à quatre lettres de l'aérodrome auquel se rapporte le SNOWTAM [voir *Indicateurs d'emplacement* (Doc 7910)];

MMYYGGgg = date/heure d'observation/de mesure, où:

MM = mois (par exemple janvier = 01, décembre = 12)

YY = jour du mois

GGgg = heure UTC (temps universel coordonné), en heures (GG) et minutes (gg);

(BBB) = groupe facultatif pour désigner:

un rectificatif à un SNOWTAM diffusé antérieurement avec le même numéro de série = COR.

*Note.*— Les parenthèses de (BBB) indiquent que ce groupe est facultatif.

*Exemple:* En-tête abrégé du SNOWTAM n° 149 de Zurich, mesure/observation du 7 novembre à 0620 UTC:

SWLS0149 LSZH 11070620

2. *Case A*  
Indicateur d'emplacement d'aérodrome (indicateur d'emplacement de quatre lettres).
3. *Case B*  
Groupe date/heure de 8 chiffres — donnant le mois, le jour, l'heure et la minute de l'observation en UTC; cette case doit toujours être remplie.

4. *Case C*  
Numéro d'identification de la piste en commençant par le nombre le moins élevé.

5. *Case D*  
Longueur dégagée de la piste, en mètres, si elle est inférieure à la longueur publiée (voir la case T, relative à la partie de la piste non déblayée).

6. *Case E*  
Largeur dégagée de la piste, en mètres, si elle est inférieure à la largeur publiée; s'il y a décalage à gauche ou à droite par rapport à l'axe de piste, ajouter «L» ou «R»; il s'agit de la largeur observée à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible.

7. *Case F*  
Dépôts observés sur toute la longueur de la piste, comme l'explique l'imprimé. On pourra utiliser des combinaisons de chiffres appropriées pour indiquer des conditions qui varient sur différents segments de la piste. En présence de plusieurs types de dépôts sur une même partie de la piste, on les mentionnera dans l'ordre où ils se succèdent, du haut vers le bas du dépôt total. La présence de congères, les dépôts d'épaisseur sensiblement supérieure à la moyenne ou d'autres caractéristiques significatives des dépôts pourront être indiqués en langage clair dans la case T.

*Note.*— Les définitions des différents types de neige figurent en 4.5.1.

8. *Case G*  
Épaisseur moyenne du dépôt (en millimètres) sur chaque tiers de la longueur totale de la piste, ou «XX» si cette épaisseur n'est pas mesurable ou n'est pas significative du point de vue de l'exploitation; la mesure sera effectuée à 20 mm près pour la neige sèche, 10 mm près pour la neige mouillée et 3 mm près pour la neige fondante.

9. *Case H*  
Mesures du frottement sur chaque tiers de la piste et appareil de mesure du frottement. Coefficient mesuré ou calculé (deux chiffres) ou, à défaut, estimation du frottement (un seul chiffre), à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible. Indiquer le chiffre de code 9 si les conditions à la surface de la piste ou l'appareil de mesure du frottement disponible ne permettent pas de mesurer le frottement avec une fiabilité suffisante. Indiquer le type d'appareil de mesure utilisé, au moyen de l'une des abréviations suivantes:

BRD Brakemètre–dynamomètre

GRT Grip Tester (dispositif de mesure de l'adhérence)

MUM Mumètre

RFT	Véhicule de mesure du frottement sur les pistes
SFH	Véhicule de mesure du frottement de surface (pneu haute pression)
SFL	Véhicule de mesure du frottement de surface (pneu basse pression)
SKH	Skiddomètre (pneu haute pression)
SKL	Skiddomètre (pneu basse pression)
TAP	Tapleymètre

Autre: à préciser en langage clair.

#### 10. Case J

Congères critiques. Indiquer leur hauteur éventuelle en centimètres et leur distance par rapport au bord de la piste en mètres, suivie des lettres «L» (gauche), «R» (droite) ou «LR» (des deux côtés), l'observation étant faite à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible.

#### 11. Case K

Si des feux de piste sont obscurcis, indiquer «OUI» suivi de «L», «R» ou «LR», l'observation étant faite à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible.

#### 12. Case L

Si un nouveau déblaiement doit être effectué, indiquer la longueur et la largeur de piste déblayée, ou «TOTAL» si la piste doit être entièrement déblayée.

#### 13. Case M

Indiquer l'heure UTC prévue d'achèvement des travaux.

#### 14. Case N

Le code de la case F peut être utilisé pour décrire les conditions sur les voies de circulation; inscrire «NON» si aucune des voies de circulation desservant la piste n'est utilisable.

#### 15. Case P

S'il y a lieu, indiquer «OUI» suivi de la distance latérale, en mètres.

#### 16. Case R

Le code de la case F peut être utilisé pour décrire les conditions sur l'aire de trafic; inscrire «NON» si l'aire de trafic est inutilisable.

#### 17. Case S

Indiquer l'heure prévue de la prochaine observation/mesure, en UTC.

#### 18. Case T

Donner en langage clair tout renseignement intéressant l'exploitation, mais utiliser toujours l'échelle ci-après pour indiquer la longueur de piste non déblayée (case D) et le

pourcentage de recouvrement de la piste (case F) pour chaque tiers de la piste (le cas échéant):

- piste recouverte à 10 % si les dépôts en recouvrent moins de 10 %
- piste recouverte à 25 % si les dépôts en recouvrent de 11 à 25 %
- piste recouverte à 50 % si les dépôts en recouvrent de 26 à 50 %
- piste recouverte à 100 % si les dépôts en recouvrent plus de 50 %.

6.4.4 Le texte ci-après donne d'autres indications pour l'établissement du SNOWTAM.

#### Généralités

1. Les indications en code de la case F peuvent être utilisées pour décrire les conditions existant sur les voies de circulation et les aires de trafic.
2. Utiliser les unités métriques sans mentionner l'unité de mesure. Celle-ci pourra être indiquée pour plus de clarté, s'il y a lieu, dans la case T.

#### Remarques particulières pour chaque cas

*Case A* — Inscrire l'indicateur d'emplacement à quatre lettres de l'aérodrome.

*Case B* — Inscrire la date de la mesure par un groupe date-heure de 8 chiffres, donnant le mois, le jour, l'heure et la minute de l'observation en temps universel coordonné (UTC) (exemple: 02010850, qui signifie le 1<sup>er</sup> février à 0850 UTC). L'heure pourra être différente pour chaque piste et le groupe date-heure de 8 chiffres sera indiqué dans chaque cas.

*Case C* — Indiquer le numéro d'identification de piste le plus faible; exemple: 16L, lorsque les numéros sont 16L/34R.

*Case D* — Indiquer la longueur de piste déneigée, en mètres, si elle est inférieure à la longueur de piste publiée; exemple: 3 300 (voir la case T).

*Case E* — Indiquer la largeur de piste déneigée, en mètres, si elle est inférieure à la largeur de piste publiée. Si cette largeur est décalée par rapport à l'axe de piste, indiquer «L» après l'unité de mesure si le décalage est vers la gauche et «R» s'il est vers la droite, l'observation étant faite à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible; exemple: 40L.

*Case F* — Décrire les conditions à la surface de la piste pour chaque tiers de celle-ci, en choisissant, sur l'imprimé, le numéro de

code qui les décrit le mieux et en commençant par le seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible; exemple: 4/5/4. On pourra utiliser des combinaisons de chiffres appropriées pour indiquer des conditions qui varient sur différents segments de la piste. En présence de plusieurs types de dépôts sur une même partie de la piste, on les mentionnera dans l'ordre où ils se présentent, en commençant par le haut; exemple: 57/56/57. La présence de congères, les dépôts d'épaisseur sensiblement supérieure à la moyenne ou d'autres caractéristiques significatives des dépôts pourront être indiqués en langage clair dans la case T. Si la présence d'humidité est signalée, la raison doit en être donnée également dans la case T.

*Case G* — Indiquer l'épaisseur moyenne en millimètres de tout dépôt de neige sèche, mouillée ou fondante identifié dans la case F, sur chaque tiers de la piste, dans l'ordre où ces dépôts sont mentionnés dans cette case. L'épaisseur du dépôt sera évaluée à environ 20 mm près pour la neige sèche, 10 mm près pour la neige mouillée et 3 mm près pour la neige fondante. Si l'épaisseur moyenne n'est pas mesurable ou n'est pas significative du point de vue de l'exploitation, on inscrira le symbole «XX»; exemple: 20/10/XX.

*Case H* — Indiquer l'évaluation des caractéristiques de frottement sur chaque tiers de la piste, dans le même ordre que pour la case F et le type d'appareil de mesure du frottement utilisé, le cas échéant. Si un tel appareil est utilisé, on indiquera le coefficient de frottement mesuré sans donner d'évaluation descriptive (par exemple, bon, médiocre, etc.). Si aucun appareil de mesure n'est utilisé, on choisira la plus appropriée des évaluations descriptives figurant sur l'imprimé. Si l'appareil de mesure ne permet pas de mesurer le coefficient de frottement avec une fiabilité suffisante, ce qui peut être le cas en présence de neige fondante ou de neige folle, on inscrira le chiffre de code 9.

Indiquer le type d'équipement de mesure utilisé, comme suit:

BRD	Brakemètre-dynamomètre
GRT	Grip Tester (dispositif de mesure de l'adhérence)
MUM	Mumètre
RFT	Véhicule de mesure du frottement sur les pistes
SFH	Véhicule de mesure du frottement de surface (pneu haute pression)
SFL	Véhicule de mesure du frottement de surface (pneu basse pression)
SKH	Skiddomètre (pneu haute pression)
SKL	Skiddomètre (pneu basse pression)
TAP	Tapleymètre

Autre: à préciser en langage clair

*Case J* — En présence de congères critiques, selon la définition donnée dans l'AIP du pays, indiquer la hauteur en centimètres et

la distance en mètres par rapport au bord de piste, et indiquer en outre si, observées à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible, ces congères sont situées à gauche «L» ou à droite «R» ou de part et d'autre «LR»; exemple: 30/5L.

*Case K* — Si certains feux de piste sont obscurcis, inscrire «OUI» suivi, s'il y a lieu, des lettres «L», «R» ou «LR», selon l'observation faite à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible; exemple: OUI L.

*Case L* — S'il est envisagé de déblayer la piste plus qu'il n'est indiqué dans la case D ou E, indiquer la longueur/largeur en mètres qu'il est prévu de dégager; exemple: 2500/35. S'il est envisagé de déblayer la totalité de la piste, inscrire «TOTAL».

*Case M* — Indiquer l'heure UTC prévue pour l'achèvement des travaux décrits dans la case L; exemple: 1300.

*Case N* — Si aucune des voies de circulation desservant la piste n'est utilisable, inscrire «NON».

*Case P* — Si des congères sont présentes le long des voies de circulation desservant la piste et si leur hauteur dépasse 60 cm, inscrire «OUI», suivi de la distance latérale en mètres; exemple: OUI 10.

*Case R* — Si l'aire de trafic est inutilisable, inscrire «NON».

*Case S* — Indiquer le mois, le jour et l'heure UTC prévus pour la prochaine observation/mesure; exemple: 01021400.

*Case T* — Utiliser cette case pour décrire en langage clair l'importance des dépôts sur la piste et pour donner tout autre renseignement intéressant l'exploitation, notamment les mesures correctives qui doivent être prises, par exemple un épandage de sable ou d'abrasif ou un déglacage; exemple: RWY 07 sablage. Si la longueur déblayée de la piste est inférieure à la longueur de piste publiée, préciser les conditions qui existent sur la partie non déblayée de la piste, par exemple: derniers 300 m de RWY 16 couverts de 50 mm de neige. Lorsqu'une piste est recouverte de dépôts, le pourcentage de recouvrement devrait être indiqué, pour chaque tiers de la piste, de la façon suivante:

- piste recouverte à 10 % si les dépôts en recouvrent moins de 10 %
- piste recouverte à 25 % si les dépôts en recouvrent de 11 à 25 %
- piste recouverte à 50 % si les dépôts en recouvrent de 26 à 50 %
- piste recouverte à 100 % si les dépôts en recouvrent plus de 50 %.

Si la présence d'humidité est signalée, il faut préciser si cette humidité est d'origine naturelle, par exemple: «piste 16, humidité naturelle». Par contre, si l'humidité est due à l'application de produits chimiques destinés à empêcher la formation de glace ou à éliminer celle-ci, le message devrait se lire comme suit: «piste 16, humidité due à des produits chimiques».

*Modèle de SNOWTAM*

On trouvera ci-après un modèle d'imprimé SNOWTAM dûment rempli (Exemple n° 1, Figure 6-2), ainsi qu'un modèle de téléimprimé correspondant (Exemple n° 2). Noter que les cases C à P pour les pistes 14 et 16 seraient répétées dans d'autres feuilles.

*Exemple n° 2*

GG EHAMZQZX EDDFZQZX EKCHZQZX  
070645 LSZHNYX  
SWLS0149 LSZH 11070620  
SNOWTAM 0149

A) LSZH B) 11070620 C) 10 D) 2200 E) 40L F) 4/5/4  
G) 20/10/20 H) 30/35/30 MUM J) 30/5 L K) OUI L  
L) TOTAL M) 0900 P) OUI 12 C) 14 D) 3000 F) 57/56/57  
G) 05/05/05 H) 32/35/9 MUM C) 16 H) 35/30/30 MUM  
S) 11070920 T) PREMIERS 300 M RWY 10 COUVERTS  
50 MM NEIGE, RWY 14 SABLÉE, TOUTES PISTES  
RECOUVERTES 100 %

(En-tête COM)	(INDICATEUR DE PRIORITÉ) GG	(ADRESSES) EHAMZQZX EDDFZQZX EKCHZQZX <≡																		
	(DATE ET HEURE DU DÉPÔT) 070645	(INDICATIF DE L'EXPÉDITEUR) LSZHNYX <≡																		
(En-tête abrégé)	(SWAA* NUMÉRO DE SÉRIE)								(INDICATEUR D'EMPLACEMENT)				(DATE/HEURE DE L'OBSERVATION)				(GROUPE FACULTATIF)			
	S	W	L	S	0	1	4	9	L	S	Z	H	1	1	0	7	0	6	2	0
SNOWTAM		(Numéro de série) 149 →																		
(INDICATEUR D'EMPLACEMENT DE L'AÉRODROME)																		A)	LSZH	→
(DATE/HEURE DE L'OBSERVATION (heure de la fin des mesures en UTC))																		B)	11070620	→
(IDENTIFICATION DE LA PISTE)																		C)	10	→
(LONGUEUR DÉBLAYÉE SI INFÉRIEURE À LA LONGUEUR DE PISTE PUBLIÉE (en m))																		D)	2 200	→
(LARGEUR DÉBLAYÉE SI INFÉRIEURE À LA LARGEUR DE PISTE PUBLIÉE (en m si décalée à gauche ou à droite par rapport à l'axe, ajouter «L» ou «R» après les chiffres))																		E)	40 L	→
(CONDITIONS SUR TOUTE LA LONGUEUR DE LA PISTE (observées sur chaque tiers de la piste à partir du seuil qui porte le numéro d'identification de piste le plus faible))																		F)	4/5/4	→
NIL — PISTE DÉBLAYÉE ET SÈCHE 1 — HUMIDE 2 — MOUILLÉE OU FLAQUE D'EAU 3 — GIVRE OU GELÉE BLANCHE (épaisseur normalement moins de 1 mm) 4 — NEIGE SÈCHE 5 — NEIGE MOUILLÉE 6 — NEIGE FONDANTE 7 — GLACE 8 — NEIGE COMPACTÉE 9 — ORNIÈRES OU ARÊTES GELÉES																				→
(ÉPAISSEUR MOYENNE (en mm) SUR CHAQUE TIERS DE LA LONGUEUR TOTALE DE LA PISTE)																		G)	20/10/20	→
(MESURES DU FROTTEMENT SUR CHAQUE TIERS DE LA PISTE ET APPAREIL DE MESURE DU FROTTEMENT)																		H)	30/35/30	→
COEFFICIENT CALCULÉ OU MESURÉ ou ESTIMATION DU FROTTEMENT  0,40 et plus BON — 5 entre 0,39 et 0,36 MOYEN/BON — 4 entre 0,35 et 0,30 MOYEN — 3 entre 0,29 et 0,26 MOYEN/MÉDIocre — 2 0,25 et au-dessous MÉDIocre — 1 9 — douteux DOUTEUX — 9  (Pour le coefficient calculé ou mesuré, utiliser les deux chiffres relevés à l'observation suivis de l'abréviation de l'appareil de mesure du frottement utilisé. Pour le freinage estimé, n'utiliser qu'un seul chiffre)																				→
(BANCS DE NEIGE CRITIQUES (hauteur (cm), distance (m) du bord de la piste suivis de «L», «R» ou «LR», s'il y a lieu))																		J)	30/5 L	→
(FEUX DE PISTE S'ILS SONT OBSCURCIS (dans l'affirmative, inscrire «OUI» suivi de «L», «R» ou «LR», s'il y a lieu))																		K)	OUI L	→
(NOUVEAU DÉBLAIEMENT SERA EFFECTUÉ SUR . . . (longueur (m)/largeur (m) qui seront déblayées; s'il s'agit de toute la surface, inscrire «TOTAL»))																		L)	TOTAL	→
(QU'ON ESPÈRE TERMINER À . . . (UTC))																		M)	0900	→
(VOIE DE CIRCULATION (si aucune des voies de circulation appropriées n'est disponible, inscrire «NON»))																		N)	----	→
(PRÉSENCE DE BANCS DE NEIGE SUR LES VOIES DE CIRCULATION (si les bancs ont plus de 60 cm de hauteur, inscrire «OUI» suivi de l'espacement, en m))																		P)	OUI 12	→
(AIRE DE TRAFIC (si inutilisable inscrire «NON»))																		R)	----	→
(PROCHAINE OBSERVATION/MESURE PRÉVUE POUR . . . (mois/jour/heure en UTC))																		S)	11070920	→
(REMARQUES EN LANGAGE CLAIR (notamment, présence de dépôts et autres renseignements intéressant l'exploitation, par exemple sablage, déglacage))																		T)	Piste 10: 300 premiers mètres recouverts de 50 mm	>≡
NOTES: 1. * Inscrivez lettres de nationalité (voir Doc 7910 de l'OACI, 2 <sup>e</sup> Partie). 2. Pour renseignements concernant d'autres pistes, répondre à nouveau aux rubriques C à P. 3. Les mots entre parenthèses ( ) ne sont pas transmis.																		neige, piste recouverte à 100 %		

SIGNATURE DE L'EXPÉDITEUR (ne pas transmettre)

Figure 6-2. Exemple n° 1 — Imprimé SNOTAM



# Chapitre 7

## Enlèvement de la neige et déglacage

### 7.1 GÉNÉRALITÉS

7.1.1 Il est impossible de se prononcer a priori sur les mesures à adopter pour améliorer le coefficient de frottement ( $\mu$ ) sur une aire de mouvement où la présence de glace, de neige, de neige fondante, d'eau et autres dépôts provoque une dégradation des caractéristiques de frottement, étant donné que les conditions météorologiques peuvent créer, à un aéroport donné, diverses situations exigeant des contre-mesures tout à fait différentes. C'est donc en fonction de chaque cas qu'il conviendra de décider du choix des mesures adaptées à l'équipement dont l'aéroport est doté.

7.1.2 Certaines conditions météorologiques peuvent créer des situations qui exigent, pour être traitées avec efficacité, un matériel dont on ne dispose pas sur place (ou qui n'existe pas encore sur le marché), ou encore des situations dans lesquelles le coefficient de frottement ne peut être amélioré que très légèrement quels que soient le travail, l'effort et l'argent investis. Dans de telles circonstances, il faudrait s'attacher à conserver le coefficient de frottement actuel. Les conditions météorologiques sont défavorables quand, par exemple:

- a) de la pluie surfondue continue de tomber;
- b) une couche de glace continue de se former;
- c) il y a une baisse soudaine de la température dans la couche supérieure de la chaussée en raison du rayonnement thermique, ce qui a pour effet de transformer en glace l'humidité qui recouvre la surface;
- d) la température tombe brusquement aux environs de 0 °C pendant une précipitation de pluie ou de neige.

7.1.3 En fait, les variations de la situation météorologique à un aéroport donné exigent une évaluation des conditions variables, et le choix du matériel se prêtant à une telle évaluation importe beaucoup.

7.1.4 Quelle que soit la technique employée pour l'enlèvement de la neige, de la neige fondante, de la glace ou de l'eau stagnante, elle a pour but de remettre rapidement en service l'aire de mouvement et les installations d'aéroport. C'est seulement en

offrant aux avions une surface d'utilisation continuellement sûre que pourront être assurées l'efficacité et l'économie du transport aérien. Ce critère s'applique à tous les aéroports, quelle que soit l'importance ou la densité de la circulation.

7.1.5 L'enlèvement de la neige, de la neige fondante, de la glace et de l'eau stagnante sur l'aire de mouvement devrait être organisé en tenant compte de la sécurité et de l'horaire des vols. La plupart du temps, l'ordre de priorité sera le suivant:

- a) piste(s) en service;
- b) voies de circulation desservant la ou les pistes en service;
- c) aire(s) de trafic;
- d) plates-formes d'attente de circulation;
- e) autres endroits.

7.1.6 Les administrations aéroportuaires, dans le monde entier, ont mis au point leur propre matériel et leurs propres techniques en vue de procéder au dégagement et à l'enlèvement des dépôts divers. Bien que les combinaisons de matériels et les méthodes d'utilisation varient, l'objectif à atteindre, à savoir l'obtention rapide de chaussées d'aéroport propres et sèches, demeure constant.

7.1.7 Plusieurs facteurs sont à considérer lorsqu'il s'agit de déterminer l'équipement nécessaire pour l'enlèvement des dépôts sur les chaussées d'aéroport. Ces facteurs sont, pour n'en citer que quelques-uns, la nature du terrain, le climat, l'emplacement de l'aéroport, les types d'avion, la densité des mouvements, les caractéristiques d'utilisation des installations et des aides à la navigation.

7.1.8 Les aéroports situés dans les zones tropicales ou subtropicales peuvent être affectés par les problèmes associés aux grains fréquents et intenses qui se traduisent par l'obligation d'éliminer les flaques d'eau stagnante. Les dépôts de caoutchouc, de sable, de poussière et de boue sont aussi chose courante sur de nombreux aéroports des zones tropicales et tempérées. Sous les latitudes plus septentrionales, l'enlèvement de la neige, de la neige fondante et de la glace implique l'engagement continu de

ressources en main-d'œuvre et en matériel, pendant une période pouvant s'étaler sur de nombreux mois au cours de l'année, et absorbe une partie importante du budget d'exploitation de l'aéroport.

7.1.9 L'enlèvement des divers dépôts peut s'effectuer au moyen d'une ou de plusieurs méthodes, en utilisant une ou plusieurs machines du même type ou une combinaison de machines dont certaines rempliront un double rôle. En général, l'enlèvement des dépôts les plus critiques de neige, neige fondante ou glace, peut s'effectuer par des moyens mécaniques, chimiques ou thermiques et peut être exécuté dans le cadre d'une opération «à grande vitesse» sur des pistes en service, ou bien à des vitesses plus classiques dans les zones de moindre priorité où la neige s'est accumulée en couches épaisses.

7.1.10 Il est souhaitable de prévoir des communications radio bilatérales pour assurer la sécurité des activités sur le terrain.

7.1.11 On étudiera, dans les sections suivantes, les différentes méthodes mécaniques, chimiques et thermiques ainsi que l'équipement et les matériaux utilisés pour l'enlèvement de la neige, de la neige fondante, de la glace, de l'eau stagnante, de la boue, de la poussière, du sable, de l'huile, du caoutchouc et autres dépôts. Ces indications serviront de guide aux administrations aéroportuaires, mais elles ne les dégageront pas de la responsabilité des décisions à prendre en ce qui concerne le type, la quantité et la qualité de l'équipement ou des matériaux utilisés, ou les méthodes à employer à chaque aéroport pour maintenir un degré optimal de propreté sur l'aire de mouvement.

## 7.2 COMITÉ NEIGE

Pour assurer efficacement l'enlèvement des dépôts, il est indispensable que s'établisse une coopération étroite entre les exploitants, les organismes des services de la circulation aérienne (ATS) et les administrations aéroportuaires. Il s'est avéré nécessaire, si l'on veut obtenir une coordination satisfaisante, d'instituer un comité neige, composé des membres provenant de l'administration aéroportuaire, du bureau météorologique, des organismes ATS et des compagnies aériennes exploitantes. Ce comité a pour tâche de planifier les mesures nécessaires en vue d'assurer la meilleure utilisation de l'aéroport. Le représentant du bureau météorologique avertit les membres du comité neige lorsque les prévisions météorologiques indiquent la nécessité de prévoir une opération de déblaiement de la neige.

## 7.3 PLAN NEIGE

7.3.1 Il existe plusieurs procédures permettant de procéder avec efficacité à l'enlèvement de la neige accumulée sur les

chaussées d'un aéroport. Tout le matériel mécanique devrait être en parfait état avant que ne survienne la première tempête, et toute réparation ou opération de révision ou d'entretien, exécutée bien avant la première intervention.

7.3.2 Tout le matériel mécanique devrait fonctionner convenablement et l'on devrait disposer d'un système satisfaisant de remplacement des pièces d'équipement. L'horaire des équipes de travail, y compris celui du personnel chargé des réparations mécaniques, devrait être affiché et les procédures d'intervention devraient être expliquées en détail. À de nombreux aéroports, une carte des lieux est affichée de façon très visible dans la salle de l'équipe d'entretien et indique en détail les zones de priorité pour chaque tempête, afin d'éviter toute confusion en ce qui concerne les zones de travail désignées.

7.3.3 Il est indispensable, pour qu'une organisation soit efficace de disposer des observations météorologiques les plus récentes ainsi que d'un préavis de tempête et ces dispositions devraient faire l'objet d'arrangements conclus, avant le début de la saison, avec le personnel météorologique.

7.3.4 Le personnel des organismes ATS et le comité neige décident du matériel qui sera utilisé à l'aéroport. Afin d'assurer le déblaiement le plus rapide possible des aires en service où circulent des avions, de bonnes relations de travail doivent s'établir entre le chef d'équipe et le personnel des organismes ATS. Il est indispensable de procéder, avant la première chute de neige, à la mise en place de balises de piste, de barrières à neige et au balisage des obstacles. Ces installations peuvent être aussi indiquées sur la carte de l'aéroport afin de permettre un repérage rapide. Enfin, tout exploitant devrait avoir procédé à l'entraînement nécessaire longtemps avant la première intervention. Ces dispositions, qui sont les plus importantes, devraient être prises bien avant le début de chaque saison de neige.

### *Hauteur admissible des congères*

7.3.5 Il convient de réduire le plus possible la hauteur des congères le long des pistes et des voies de circulation et autour des aires de trafic afin d'assurer le dégagement des ailes des avions et d'éviter les problèmes opérationnels liés à l'aspiration de glace par les turbomachines. La Figure 7-1 représente la hauteur de neige maximale admissible pendant les opérations initiales de déneigement à ces endroits. Il s'agit du profil qui devrait être obtenu après que la neige a cessé de tomber et que les circonstances permettent de disposer de l'équipement de déneigement affecté à des travaux de priorité plus élevée. Lorsque les circonstances le permettent, la hauteur de profil présentée dans la Figure 7-1 devrait être réduite afin de faciliter les opérations futures de déneigement et de réduire les risques d'introduction de neige dans les réacteurs. Le but devrait être d'enlever complètement la neige jusqu'au niveau du sol sur les aires où l'équipement de déneigement peut être utilisé, par

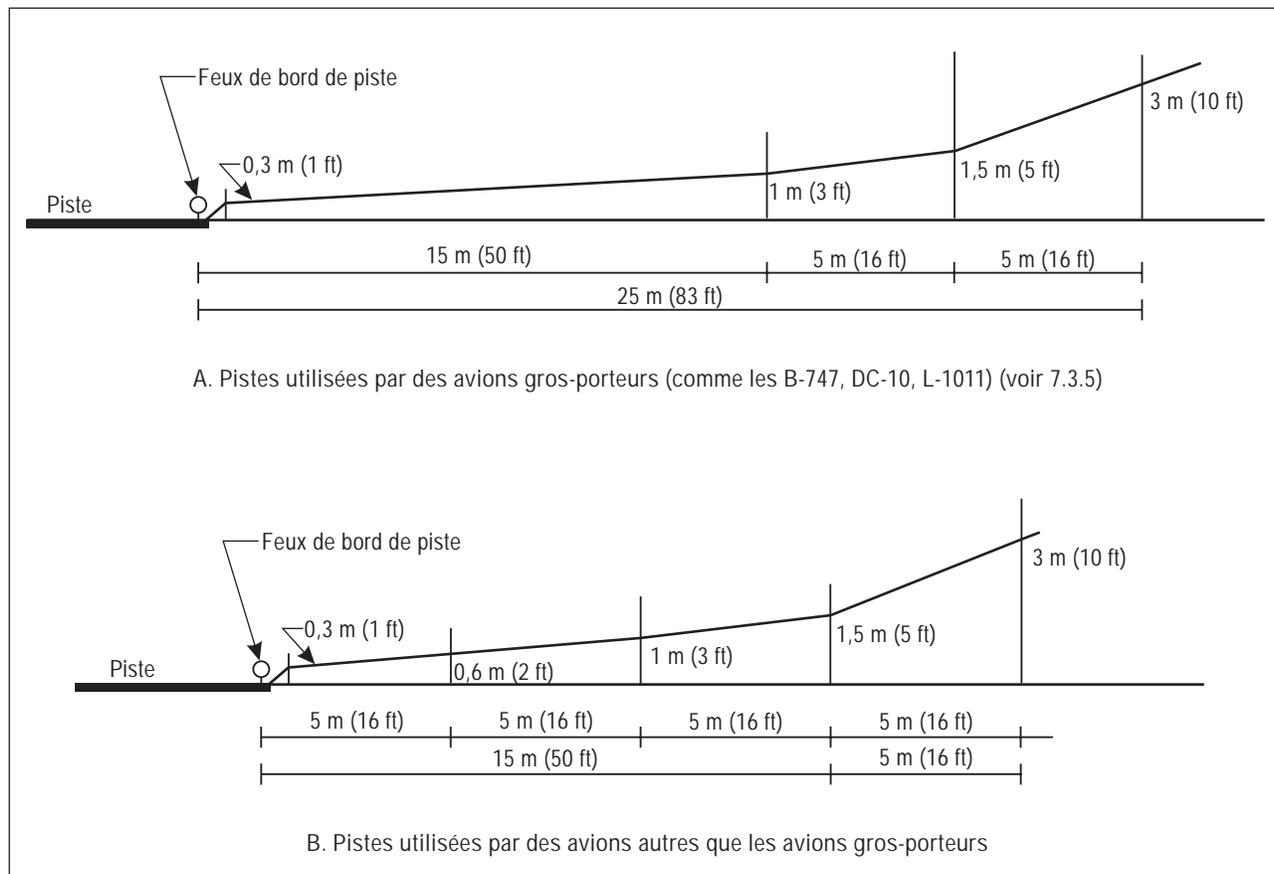


Figure 7-1. Épaisseur admissible de la couche de neige en bordure de piste

exemple sur les accotements. Il convient, en particulier, dans le cas des pistes destinées à être utilisées par des Boeing 747, de nettoyer, autant que possible, la piste et ses accotements sur une largeur totale minimale de 60 m.

#### **Balisage des limites de piste (conifères et balises de plastique)**

7.3.6 En hiver, à de nombreux aéroports, on utilise des conifères d'environ 1,20 m de hauteur et à tronc assez mince pour indiquer les limites de l'aire de mouvement et pour baliser les obstacles qui risquent d'être endommagés ou d'endommager les avions ou le matériel. Ces arbres sont ébranchés à la base du tronc afin d'éviter une accumulation de neige à cet endroit. On a mis au point et l'on évalue actuellement une balise permanente en plastique de couleur orange vive destinée à remplacer les arbres. Il s'agit d'une pyramide triangulaire de 38 cm montée sur un axe souple et qui peut tourner librement sur des paliers de nylon. Les balises sont mises en place au début de l'hiver. Elles sont disposées au voisinage des feux de bord de piste et de voie de circulation, du côté du terrain, à une distance suffisante pour

assurer la marge de sécurité nécessaire par rapport aux avions. On utilise également des fanions de couleur orange vive, à monture flexible. Les conducteurs de machines jugent ces balises précieuses pour indiquer l'emplacement des feux couverts de neige. Les balises doivent être installées de telle sorte qu'au contact d'un avion, elles se brisent ou se déplacent sans causer de dommages.

#### **Accès à la piste pour l'enlèvement de la neige**

7.3.7 L'enlèvement rapide et efficace de la neige suppose a priori que les opérations de déblaiement commencent dès le début de la chute de neige. En général ces opérations seront très longues si la neige s'est déjà accumulée en couche épaisse. Par conséquent, il est absolument nécessaire que s'établisse une coopération étroite entre les organismes ATS et le personnel préposé à l'enlèvement de la neige.

7.3.8 La procédure usuelle consiste à autoriser un certain nombre de décollages et d'atterrissages puis à permettre au

matériel d'enlèvement de la neige d'effectuer quelques passages pour déblayer la partie centrale de la piste. Sous réserve que le matériel de déneigement n'a pas formé de congères risquant de gêner la circulation, la piste peut être rouverte au trafic. Si la neige continue de tomber, il sera nécessaire de procéder à de nouvelles interruptions de trafic pour permettre au matériel de passer plusieurs fois au cours de la tempête.

7.3.9 L'application efficace de cette procédure exige que tous les véhicules utilisés pour les opérations de déblaiement et d'enlèvement de la neige soient dotés d'un équipement radio. En outre, il est très important que le personnel préposé à l'enlèvement de la neige connaisse le vocabulaire ATS et ait été formé à appliquer rapidement et efficacement les instructions des services de la circulation aérienne.

## 7.4 MÉTHODES MÉCANIQUES

### *Opérations de déneigement*

7.4.1 Les opérations de déblaiement devraient commencer dès que la neige commence à s'accumuler à la surface des chaussées. Les machines employées pour la première opération, dans le cadre de cette procédure, dépendent de l'équipement disponible, du type de la neige, du fait qu'il s'agit de neige mouillée ou de neige sèche ainsi que de la direction et de la force du vent. Le personnel de l'organisme ATS désignera la piste qui doit être déblayée en fonction des prévisions météorologiques concernant les conditions qui existeront après le passage de la tempête.

7.4.2 Il faut souligner qu'il ne sert à rien d'essayer de dégager les pistes en cas de blizzard, étant donné que la neige s'accumulera aussi vite qu'elle est balayée. Les opérations sont alors très dangereuses par suite de la mauvaise visibilité et ni les exploitants ni le matériel ne se trouveront dans leur état optimal lorsque la tempête s'apaisera et que les travaux de déblaiement pourront utilement commencer. Les chutes de neige sont classées comme chutes légères ou fortes chutes en fonction de leur intensité et du type de neige.

### *Déneigement des installations ILS et VASIS, des dispositifs d'arrêt, des feux encastrés et autres installations d'aéroport*

7.4.3 Des machines de types divers sont utilisées pour dégager les zones qui entourent les installations de navigation situées sur les pistes ou à proximité.

7.4.4 Afin d'éviter d'endommager les installations, il faut balayer les feux encastrés ou les dégager avec une lame de

caoutchouc qui est fixée à l'avant du versoir, entre celui-ci et une plaque d'acier, de manière qu'elle dépasse la partie inférieure du versoir d'environ 8 cm. Les parties métalliques sous le châssis des chasse-neige ou des souffleuses devraient avoir une garde au sol minimale de 4 cm. L'emploi de véhicules dont les pneus sont munis de chaînes, de hermes à neige à grande vitesse et de raclours métalliques montés sous châssis devrait être déconseillé. Les balayeuses de piste devraient être utilisées en premier lieu et le plus longtemps possible pendant les travaux de déneigement. Les chasse-neige et les souffleuses devraient compléter le travail des balayeuses seulement lorsque celles-ci ne peuvent pas lutter efficacement contre l'accumulation de neige.

### *Enlèvement de la neige ailleurs que sur les pistes*

7.4.5 Bien que la priorité soit donnée, selon les dispositions de 9.4.13 du Volume I de l'Annexe 14, au dégagement de l'aire de mouvement, il faut aussi assurer la circulation des véhicules à destination et en provenance de l'aéroport. Par conséquent, les voies d'accès doivent être maintenues ouvertes pendant toute la durée d'une tempête. Les autres zones de deuxième priorité doivent être dégagées aussitôt que possible pour permettre le retour aux opérations normales; cependant, il est possible de réduire dans une certaine mesure les travaux d'entretien d'hiver en déclarant temporairement fermée une piste ou une voie de circulation rarement utilisée ou une partie d'aire de trafic. Les zones secondaires sont dégagées en utilisant le matériel classique, chasse-neige à lame, souffleuse et chargeuse. Les routes sont dégagées en repoussant la neige sur un côté, au moyen du chasse-neige à lame ou de la souffleuse, ou en chargeant la neige dans des camions à benne basculante et en la transportant vers une décharge de neige. On procède de la même manière pour le dégagement des parcs de stationnement des véhicules, des aires de service et des voies d'urgence de l'aéroport.

7.4.6 La neige présente sur les aires de trafic utilisées pour le stationnement, le chargement ou le ravitaillement et l'entretien des avions ne peut pas toujours être repoussée en bordure de ces zones à cause des immeubles ou autres installations qui s'y trouvent. Il est souvent nécessaire de charger la neige que l'on a enlevée de ces emplacements restreints et de la transporter vers une décharge. La neige est amoncelée en bourrelets et chargée dans des camions au moyen de souffleuses ou de chargeuses. À de nombreux aéroports, l'enlèvement de la neige à certains endroits, comme les voies d'accès et les zones de service, peut être assuré par contrat, sous le contrôle du personnel de l'aéroport. Cette solution est en train de se révéler très efficace et économique à un grand nombre d'aéroports internationaux; il fait appel à des ressources en main-d'œuvre et en matériel de construction qui étaient demeurées jusque-là inactives pendant l'hiver.

### **Moyens mécaniques permettant de limiter les accumulations de neige dues au vent**

7.4.7 Les barrières à neige, les tranchées ou le compactage au rouleau sont des moyens utilisés pour limiter les accumulations de neige dues au vent sur les surfaces dégagées. Les barrières à neige se composent généralement d'une structure en treillis de planches élevée temporairement dans une zone dégagée d'obstacles, perpendiculairement à la direction du vent dominant. Ces barrières sont disposées à une distance de la zone dégagée de 23 à 30 m dans les conditions normales, mais elles peuvent être placées à une distance atteignant 90 m suivant les inégalités du sol, la vitesse du vent et d'autres facteurs. L'emplacement de la barrière conditionne son efficacité et il doit être déterminé empiriquement. Il y a lieu de prévoir la possibilité d'augmenter la hauteur de la barrière à mesure que la couche de neige s'épaissit. Les barrières à neige peuvent être réalisées au moyen de conifères, de buissons, de lattes d'acier ou d'autres écrans analogues.

## **7.5 MATÉRIEL D'ENLÈVEMENT DE LA NEIGE ET DE DÉGLAÇAGE**

### **Généralités**

7.5.1 L'efficacité des opérations de déneigement ou de déglacage dépend du matériel utilisé. Le choix de ce matériel est analysé dans les paragraphes suivants. Lorsqu'elles déterminent leurs besoins en équipement de déneigement et de déglacage, les autorités aéroportuaires doivent tenir compte de nombreux facteurs. Parmi les plus importants, il convient de citer:

- a) les facteurs économiques;
- b) la surface à entretenir et la fréquence des mouvements d'avions;
- c) la disponibilité des pièces de rechange et les possibilités de réparation et d'entretien;
- d) les conditions météorologiques — importance des chutes de neige, température et risque de formation de glace.

### **Conditions météorologiques**

7.5.2 Étant donné que les besoins en matériel de déneigement et de déglacage dépendent étroitement de l'importance des chutes de neige, les facteurs suivants aideront à les définir pour un aéroport donné.

- a) La fréquence et l'épaisseur moyenne des chutes de neige, la densité de la neige, le volume et la nature de la circulation aérienne à l'aéroport, ainsi que la superficie de la chaussée

à déneiger ou à déglacer sont des facteurs à prendre en considération lors de l'achat du matériel de déneigement.

- b) Les statistiques météorologiques indiquent qu'aux endroits où il tombe moins de 40 cm de neige en moyenne par an, l'épaisseur de chaque chute est généralement inférieure à 5 cm. Ordinairement, en pareil cas, l'acquisition d'un grand nombre d'engins de déneigement coûteux qui ne seraient utilisés que peu souvent ou pendant une très courte période de l'année serait économiquement injustifiée. Les aéroports où la moyenne annuelle de chute de neige est inférieure à environ 40 cm et qui ne reçoivent que des avions à moteurs à pistons, ou moins de trois vols réguliers par jour, peuvent trouver plus économique de confier les travaux de déneigement à des entreprises indépendantes (par exemple à des entreprises spécialisées dans les travaux de terrassement), à condition que la priorité leur soit accordée durant les périodes de chute de neige.

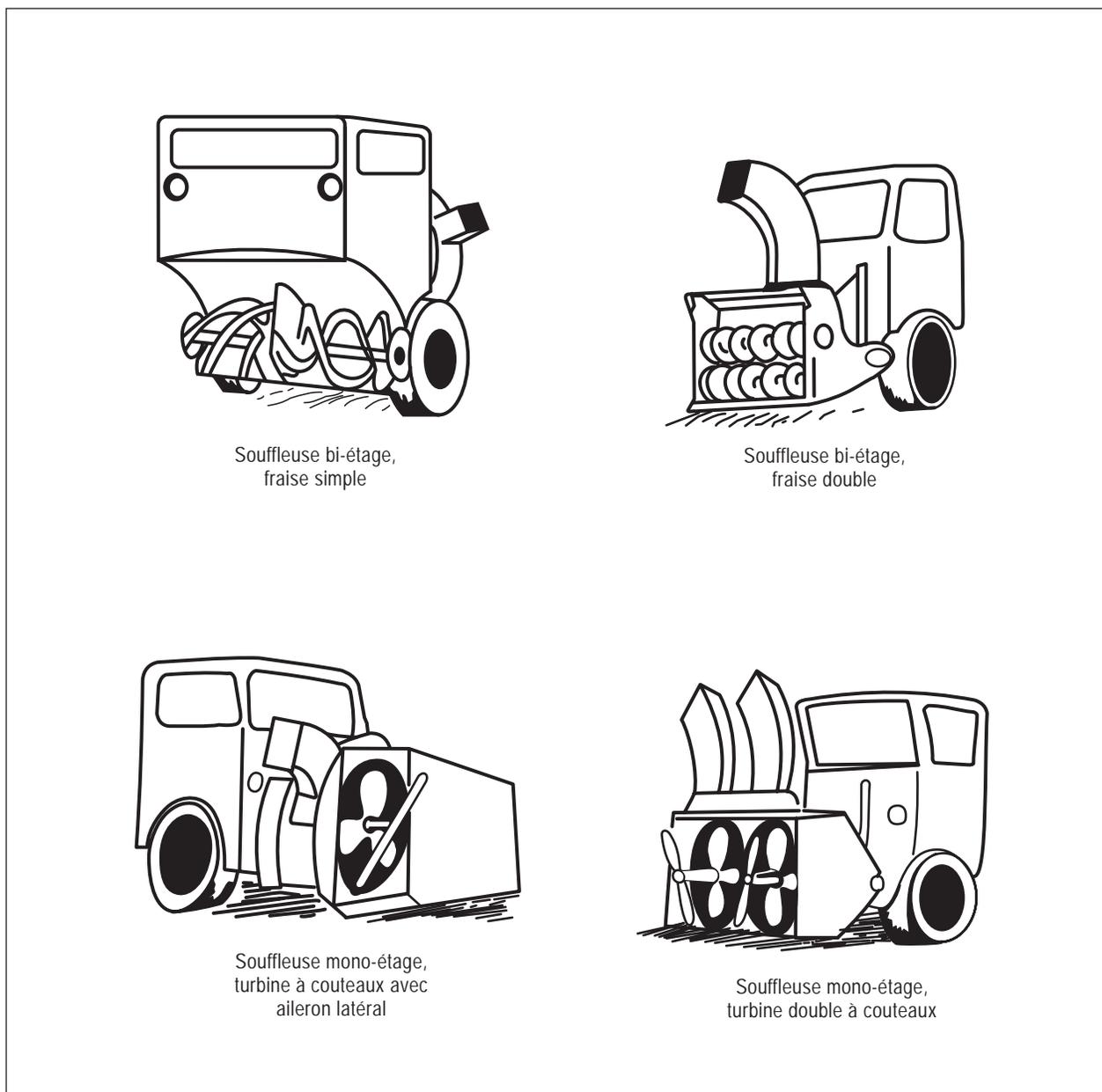
### **Critères relatifs au matériel de déneigement dans les aéroports**

7.5.3 Les besoins en matériel de déneigement d'un aéroport peuvent être complètement différents de ceux du service de la voirie dans la même région. Le relief du terrain d'un aéroport est généralement plat, la chaussée peut être très large, un grand nombre d'aéroports sont équipés de feux encastrés dans la chaussée, le terrain adjacent à la piste doit être débarrassé (feux de bord de piste), la couche de neige n'est généralement pas très épaisse, mais la rapidité du déblaiement est souvent un facteur important dans le choix du matériel.

7.5.4 Compte tenu de ces besoins, le matériel de déneigement des aéroports est souvent plus rapide, de plus grandes dimensions et plus perfectionné du point de vue mécanique que celui qui est utilisé sur les routes. Les types d'engins peuvent également être très variés. Enfin, les techniques de communications, de même que les techniques d'utilisation du matériel dans le cadre d'un plan d'ensemble, sont généralement plus compliquées.

7.5.5 *Souffleuses.* Il en existe de toutes dimensions, depuis les petits modèles montés sur camion pour la saison d'hiver jusqu'aux grosses machines spécialisées équipées de plusieurs moteurs. Du point de vue de la conception, les souffleuses appartiennent essentiellement à l'un des deux types ci-après (voir Figure 7-2):

- a) *souffleuses bi-étage* — le type à fraise unique à ruban est le plus généralement utilisé. C'est un véhicule à grande vitesse et polyvalent qui peut être utilisé pour le soufflage de la neige mouillée ou de la neige sèche. Le premier étage nettoie la chaussée et dirige la neige vers la turbine d'évacuation à grande vitesse du second étage;



**Figure 7-2. Types de souffleuses**

- b) *souffleuses mono-étage* — ce type est plus efficace lorsque la neige est sèche et légère. Son principal avantage réside dans sa simplicité.

7.5.6 *Chasse-neige*. Ces engins sont utilisés conjointement avec d'autres matériels de déneigement. Le Tableau 7-1 en présente les divers types et leurs utilisations. La Figure 7-3 illustre les différents types de lames utilisés. Cependant, les avantages des chasse-neige à grande vitesse pour piste méritent d'être examinés, car ces engins ne se contentent pas de pousser la neige sur le bord de la piste, d'où elle doit être reprise par des

souffleuses, mais ils la projettent à grande distance, ce qui, dans certains cas, peut réduire les frais de déneigement. Le problème essentiel consiste à s'assurer que la neige sera effectivement projetée au-delà des feux de bord de piste ou de voie de circulation, et que la hauteur maximale admissible de la neige à proximité de la piste ne sera pas dépassée. Lorsqu'on dispose d'un matériel ancien, la méthode la plus courante consiste à utiliser simultanément des souffleuses et des chasse-neige. Ce principe est encore valable de nos jours sur de nombreux aéroports mais il est possible, dans les conditions ci-après, d'utiliser simplement un chasse-neige à grande vitesse:

**Tableau 7-1. Caractéristiques des principaux types de chasse-neige**

Type de chasse-neige	Lame orientable	Type faible vitesse pour déneigement par déplacement	Type grande vitesse pour déneigement par projection	Largeur de travail	Coût	Rebord en caoutchouc	Usure
À lame biaisée	Non	Un seul sens	Un seul sens	Grande	Faible	Oui	Acceptable
À lame réversible	Oui	Deux sens	Deux sens	Grande	Moyen	Oui	Acceptable
À lame basculante	Oui	Non	Excellent dans les deux sens	Moyenne	Moyen	Non	Minimale
Chasse-neige pour aires de stationnement	Oui	Deux sens	Non	Grande	Élevé	Non	Acceptable
Grand chasse-neige à ailerons repliables	Oui	Deux sens	Deux sens	Très grande	Le plus élevé	Oui	Acceptable
Chargeur à godet	Articulée	Deux sens	Non	Moyenne	Moyen	Non	Minimale

- faible enneigement annuel (de 40 à 50 cm);
- pistes surélevées (les chaussées tendent à rester dégagées si les pistes sont surélevées);
- feux de bord de piste hauts (afin qu'ils restent plus longtemps visibles);
- nombre de mouvements peu élevé (plus de temps pour débayer la piste);
- accotements revêtus ou stabilisés (le chasse-neige peut passer plus près des feux);
- conducteurs très compétents (ils doivent souvent faire preuve de jugement);
- vents dominants en hiver (de légers vents traversiers contribuent à dégager la piste);

Dans ces conditions, il est possible de faire l'économie d'une souffleuse et par conséquent de réduire les coûts (voir Figure 7-4).

7.5.7 *Types de chasse-neige.* La Figure 7-3 illustre les différents types de chasse-neige.

a) *Chasse-neige à lame biaisée et conique orientée à gauche ou à droite.* Conçu pour l'enlèvement à grande vitesse de quantités importantes de neige sur les pistes, ce chasse-neige du type classique à lame biaisée est équipé d'un versoir conique et de commandes hydrauliques classiques.

- b) *Chasse-neige à lame orientable et tranchant standard ou non métallique.* Ce chasse-neige est conçu pour l'enlèvement à grande vitesse de grandes quantités de neige sur les pistes, lorsqu'il faut pouvoir rejeter la neige du côté droit ou du côté gauche. L'angle d'attaque est fixe. Cet engin ne doit pas être utilisé sur des chaussées comportant des feux encastrés.
- c) *Chasse-neige à lame basculante avec tranchant en acier.* Ce chasse-neige permet de rejeter la neige du côté droit ou gauche sous un angle fixe. Il ne doit pas être utilisé sur des chaussées comportant des feux encastrés.
- d) *Aileron de nivellement monté sur le côté gauche ou droit.* L'aileron de nivellement est prévu pour les opérations intensives de déneigement. Il est réglable en hauteur pour niveler et égaliser les congères naturelles ou celles qui résultent des opérations de déneigement.
- e) *Aileron latéral.* L'aileron latéral est monté sur le côté droit ou gauche du véhicule de façon à augmenter la largeur de travail.
- f) *Lame poussée orientable de grande largeur avec ailerons repliables.* Cette lame se caractérise par sa grande largeur de travail et peut être utilisée à grande ou à faible vitesse.
- g) *Lame montée sous le châssis.* Cette lame offre une manœuvrabilité maximale dans les zones difficilement accessibles. Recommandée pour l'enlèvement de la glace et de la neige compactée.

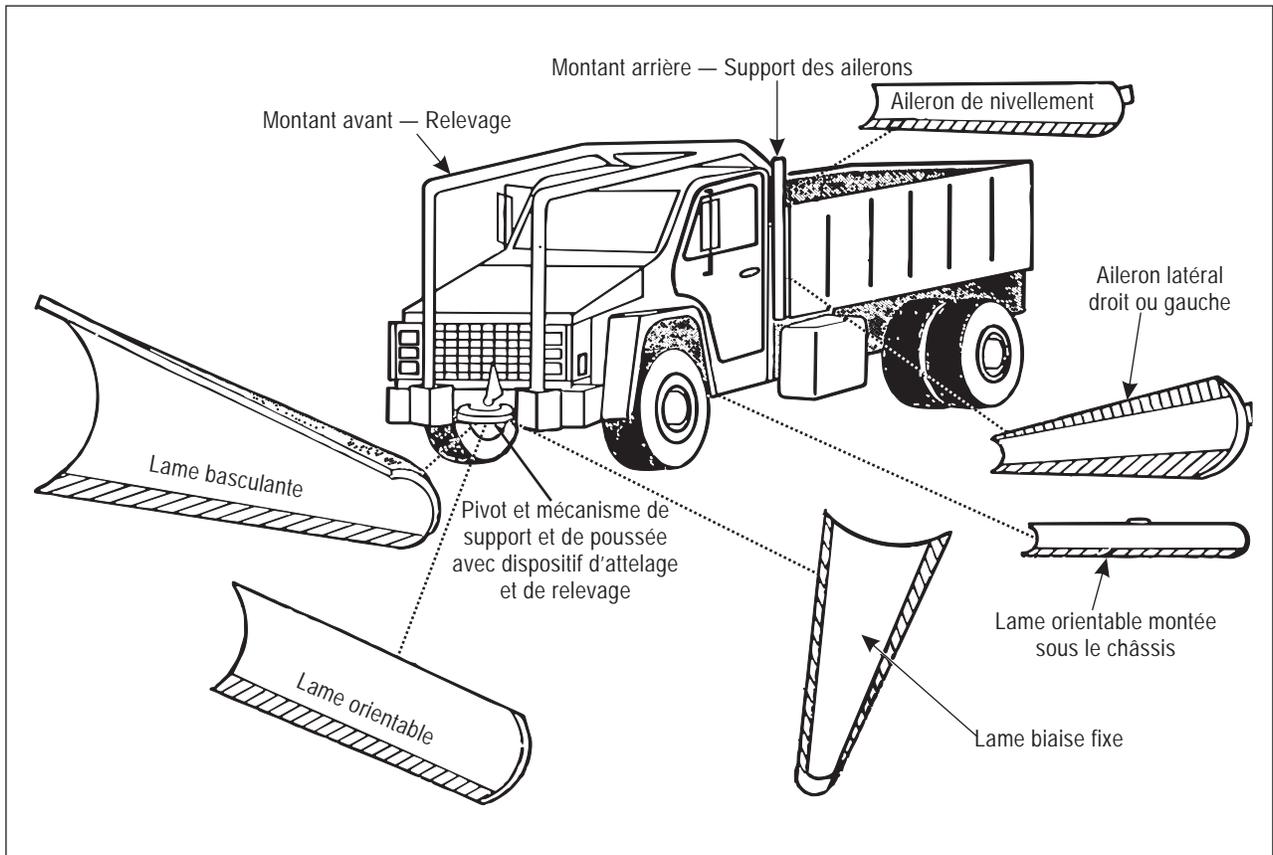


Figure 7-3. Types de lames

Grand chasse-neige du type à projection à lame orientable  
 Chasse-neige moyen du type à projection à lame basculante  
 Chasse-neige moyen du type à projection à lame orientable

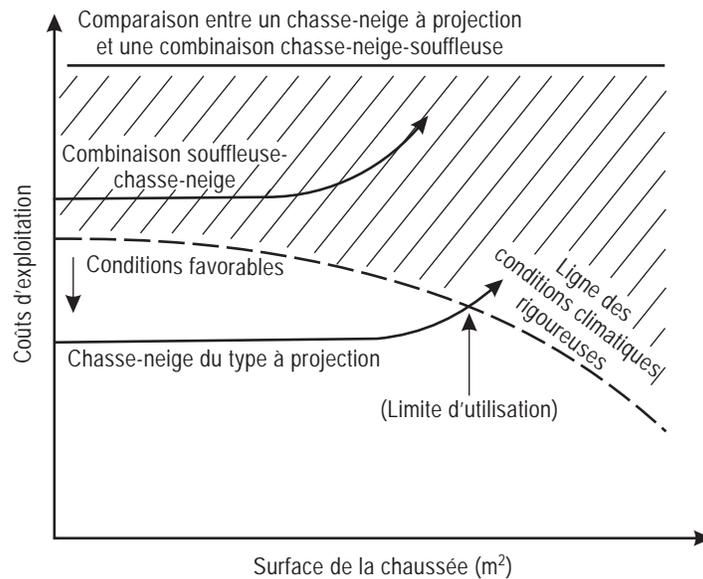


Figure 7-4. Chasse-neige du type à projection (utilisés seuls ou en équipe)

- h) *Chasse-neige pour aires de trafic.* Ce chasse-neige à large lame est conçu pour le déneigement des aires de trafic bordées de bâtiments. Il sert à pousser la neige et la neige fondante loin de l'aérogare, de l'aire de stationnement des avions et de l'aire de trafic, mais il ne doit pas être utilisé dans les zones comportant des feux encastrés.
- i) *Godets à neige (usage général).* Les godets à neige sont utilisés pour le chargement de la neige de la même manière que des godets standard. Ils peuvent être montés à la place de ces derniers sur des chargeurs frontaux.
- j) *Paniers à neige.* Ce sont des godets à claire-voie qui sont utilisés pour le chargement de la neige de la même manière que les godets standard. Ils peuvent être montés à la place de ces derniers sur des chargeurs frontaux.

7.5.8 D'autres économies en matière de matériel pourraient être réalisées par un aéroport en étudiant la possibilité de remplacer les chasse-neige et les camions par des chargeurs frontaux. Sur les aires de trafic de dimensions réduites, en particulier, le chargeur articulé est sans rival grâce à sa maniabilité et à sa visibilité. Sa vitesse est cependant limitée essentiellement en raison de l'absence de suspension et de la présence de pneus basse vitesse. En général, il ne devrait pas être utilisé de façon continue à une vitesse excédant 8-16 km/h; il est même préférable de ne pas dépasser la limite inférieure de cette plage, car les vitesses élevées provoquent des battements, un échauffement excessif des pneus et leur détérioration rapide. La Figure 7-5 présente sous forme de graphique

l'augmentation des coûts en fonction de la distance à parcourir et du temps nécessaire. Lorsque les surfaces à déblayer sont grandes et que le temps devient un facteur important, il convient de considérer l'utilisation combinée de chasse-neige et de camions selon la méthode classique.

7.5.9 Un autre apport de la technologie moderne consiste dans l'utilisation récente sur les chasse-neige de versoirs non métalliques. Selon de nombreuses indications, il semble que les nouvelles lames en polycarbonate exigent moins de puissance et permettent par conséquent de réaliser d'importantes économies de carburant. Les lames en polycarbonate paraissent avoir les mêmes qualités de durabilité que les lames classiques en acier et présentent trois avantages majeurs.

- a) Réduction de la masse — l'inertie du chasse-neige est réduite et de ce fait, la puissance requise pour le déblaiement de la neige est plus faible.
- b) Réduction du frottement — le coefficient de frottement du polycarbonate est inférieur à celui de l'acier de sorte que le frottement entre la surface de la neige et la lame est réduit; la résistance à l'avancement est donc plus faible et la puissance requise pour le déneigement est également réduite.
- c) Résistance à la corrosion — les versoirs en polycarbonate ne rouillent pas et ne se corrodent pas. D'autre part, la partie en acier du chasse-neige est généralement protégée par le versoir en polycarbonate.

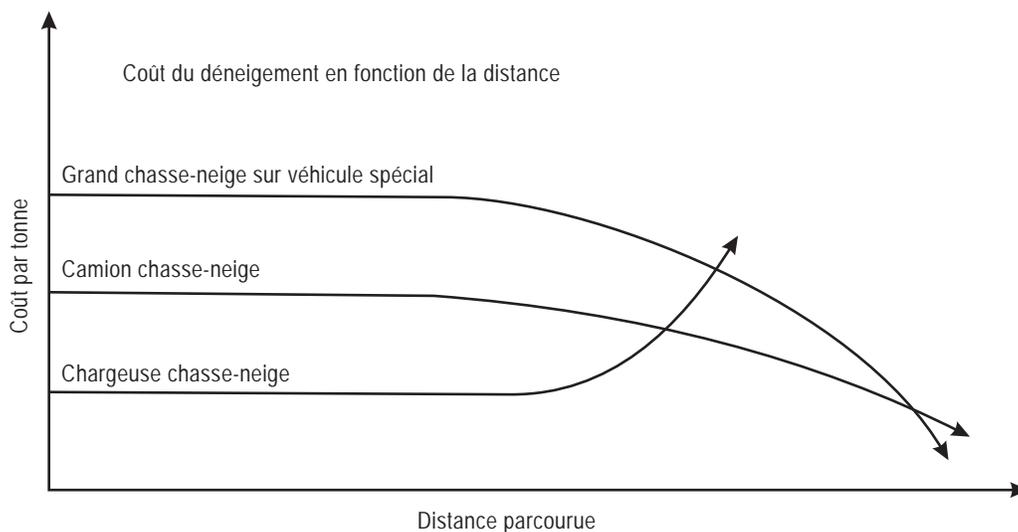


Figure 7-5. Coût du déneigement en fonction de la distance

7.5.10 *Sableuses/épandaises*. Ces véhicules de lutte contre la glace sont largement utilisés pour l'épandage du sable et de l'urée sur de nombreux aéroports situés dans les régions à climat rigoureux. De façon générale, l'urée peut être utilisée pour faire fondre la glace lorsque la température est supérieure à  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Au-dessous de cette température, on utilise du sable chauffé. L'engin est autonome; il est équipé d'une trémie à alimentation positive et d'un dispositif de réglage de la largeur d'épandage, et il se monte généralement sur un camion chasse-neige. Les véhicules sont de gros camions à huit ou dix roues qui peuvent posséder des caractéristiques additionnelles comme un plateau chauffant, un régulateur de vitesse automatique et des dispositifs de mouillage pour assurer l'adhérence de l'urée à la surface de la chaussée (voir Figure 7-6).

7.5.11 *Balayeuses à neige*. Ces engins sont poussés ou tractés, et ils sont équipés d'une soufflerie orientable pour chasser la neige compacte. Ils sont utilisés pour enlever la neige

légère, la neige fondante et le sable résiduel ainsi que pour débayer la chaussée autour des feux encastrés.

- a) *Balayeuses poussées*. Ces balayeuses dont il existe plusieurs modèles sont poussées par un véhicule à cabine classique ou surélevée. Elles peuvent être équipées d'une, de deux ou de quatre roulettes, d'un ou de deux moteurs et d'une soufflante actionnée par le moteur. Elles sont montées à l'avant du véhicule, de sorte que le conducteur peut observer directement la surface balayée; par vent fort, toutefois, la visibilité à partir de la cabine peut être gravement compromise (voir Figure 7-7).
- b) *Balayeuses à neige tractées*. Ces engins sont tractés par un véhicule à cabine classique. Ils sont capables de balayer sur une largeur de 3 m à des vitesses pouvant atteindre 40 km/h et, lorsqu'ils sont utilisés en formation échelonnée, ils peuvent se révéler très efficaces pour le balayage rapide d'une piste (voir Figure 7-7).

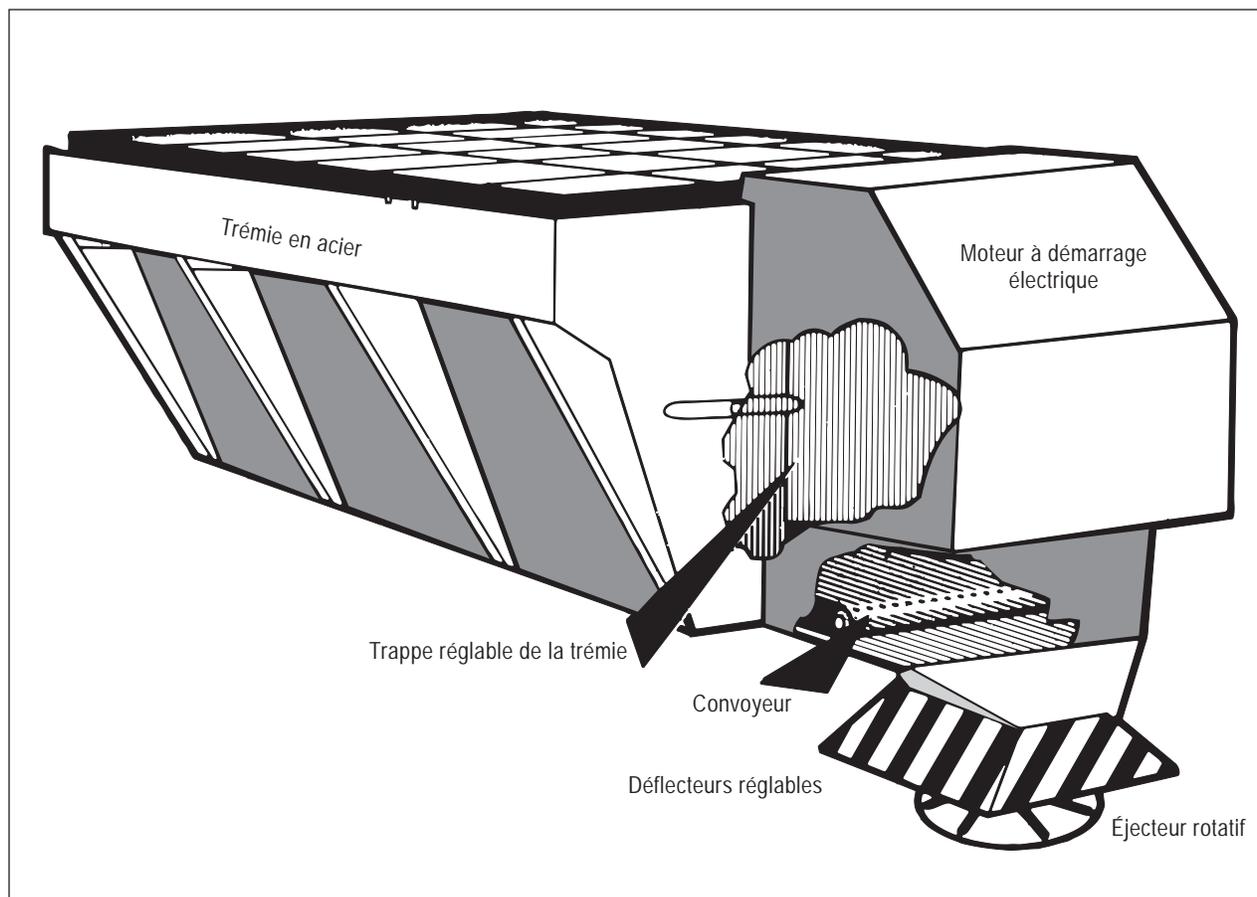
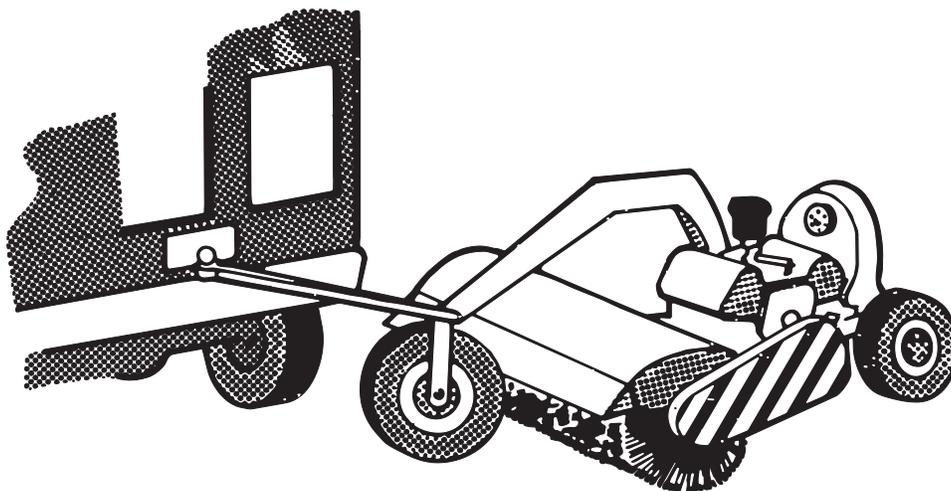
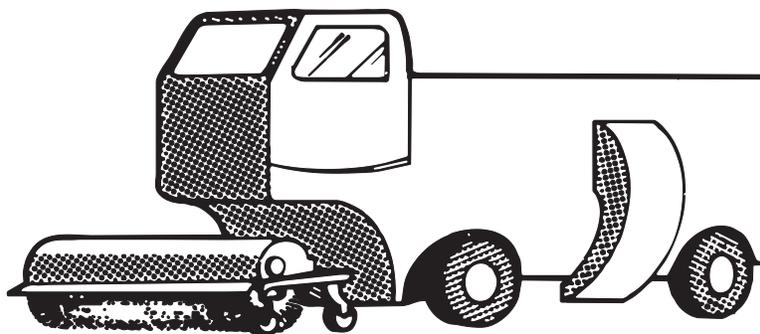


Figure 7-6. Sableuse-épandaise



Petite balayeuse tractée (brosse de 3,6 m) avec souffleuse intégrée



Grosse balayeuse poussée (brosse de plus de 3,6 m)  
avec moteur et souffleuse arrière intégrés — cabine surélevée



Grosse balayeuse poussée (brosse de plus de 3,6 m)  
avec deux moteurs et souffleuse à l'avant — cabine classique

Figure 7-7. Types de balayuses

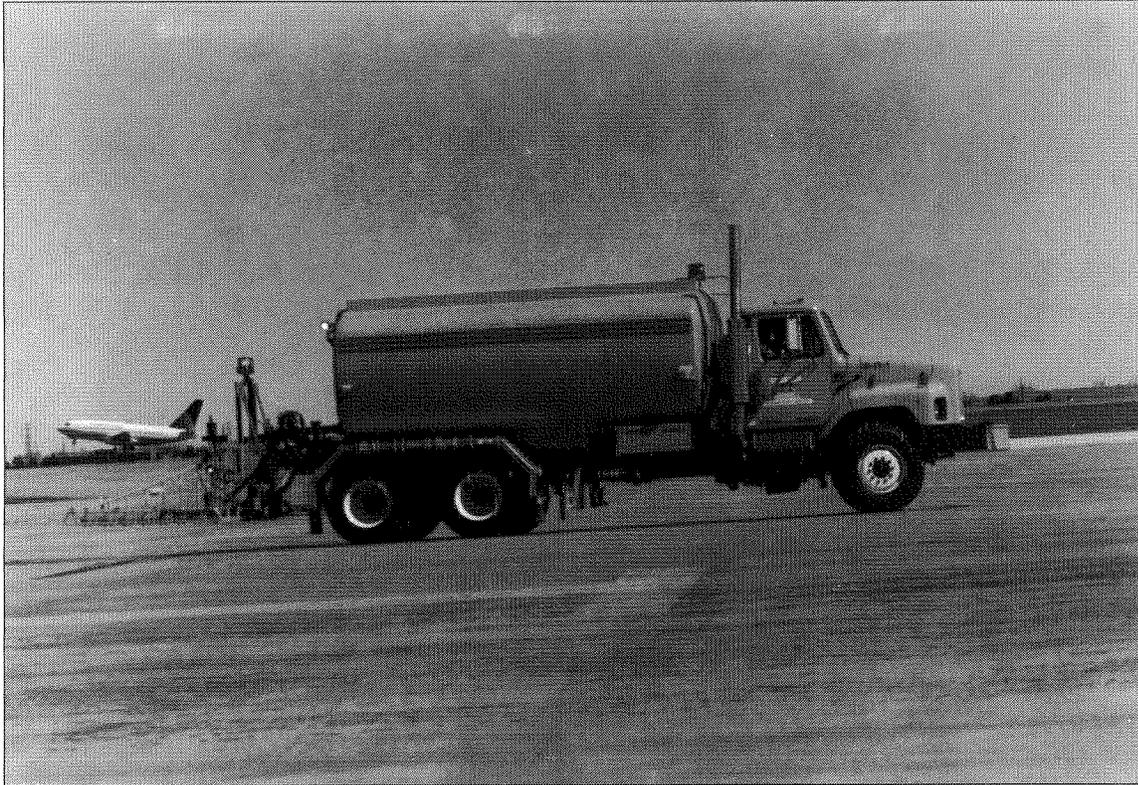


Figure 7-8. Camion-citerne à déglacant liquide

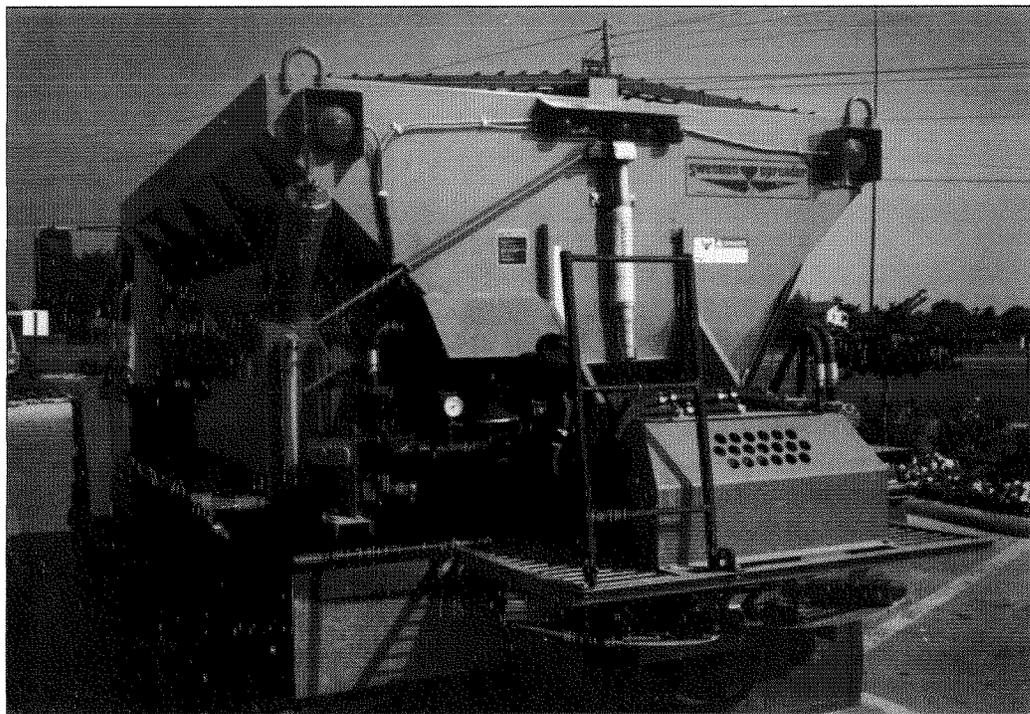


Figure 7-9. Distributeur d'agent chimique de déglacage liquide/solide

7.5.12 *Camions-citernes à fondant liquide.* Il s'agit de grands véhicules ordinairement fabriqués selon les spécifications du client et dont la largeur d'épandage peut atteindre 25 m. Les fondants liquides peuvent être utilisés à des températures plus basses que l'urée et contrairement à cette dernière, il ne sont pas emportés par le vent. Ils sont également plus faciles à transporter et à stocker. Ces véhicules sont utiles aux grands aéroports où le verglas est fréquent. Ils fonctionnent selon deux principes. Le liquide peut être mis sous pression et vaporisé au moyen d'une rampe de vaporisation (comme le montre la Figure 7-8). La quantité de produits chimiques vaporisée dépend alors de la pression dans le réservoir, des dimensions des orifices de vaporisation et de la vitesse du véhicule. Les machines modernes vaporisent le liquide à partir d'épandeurs rotatifs sur une largeur pouvant atteindre 25 m, soit symétriquement derrière le véhicule ou sur le côté (pour projeter le liquide sous les avions en stationnement). La vitesse d'épandage peut être prééglée et n'est pas fonction de la vitesse du véhicule (jusqu'à 32 km/h).

7.5.13 *Distributeur de produits chimiques de déglacage.* Il s'agit de véhicules qui répandent de l'urée au moyen d'épandeurs rotatifs sur une largeur de 25 m, soit symétriquement derrière le véhicule ou sur le côté (pour projeter les grains d'urée sous les avions en stationnement). Pour faire en sorte que les grains d'urée collent aux surfaces sèches, ils sont vaporisés à l'eau ou au fondant liquide juste avant d'être répandus. La vitesse d'épandage peut être prééglée et la vitesse du véhicule est automatiquement compensée (voir Figure 7-9).

7.5.14 *Chargeur frontal.* Cet engin, qui est très utile pour dégager les aires de trafic, entasser la neige et charger le sable ou l'urée, peut aussi servir au déblaiement des voies de circulation. Il peut être équipé de divers accessoires et godets (voir Figure 7-10).

7.5.15 *Niveleuse.* La niveleuse est très utile pour casser la glace et nettoyer les pistes recouvertes de gravier. Quoique sa vitesse de déplacement soit faible, la niveleuse peut également servir à l'entretien des aéroports qui ne sont ouverts qu'en été. On l'utilise souvent pour l'entretien des accotements et des routes d'accès (voir Figure 7-11).

7.5.16 *Bâtiments d'entretien et d'entreposage du matériel de déneigement.* Pour être constamment en mesure d'empêcher l'accumulation dangereuse de neige ou de glace il faut pouvoir disposer rapidement du matériel de déneigement et de déglacage et des matériaux nécessaires. Afin d'assurer cette disponibilité par tous les temps, il est essentiel de prévoir des installations d'entretien et d'entreposage adéquates.

### **Détecteur de verglas**

7.5.17 L'épandage de matériaux déglacants avant la formation de glace sur la piste est la méthode de déglacage la

plus sûre et la plus efficace. Un détecteur capable de prévoir et d'indiquer l'état de la piste en temps réel constitue aussi un moyen très efficace. Le système de détection du verglas comporte trois éléments de base: le(s) dispositif(s) de mesure, le(s) centre(s) de traitement du signal et un pupitre de visualisation des données. Les données peuvent être présentées dans un format adapté aux différents usagers, par exemple les pilotes et le personnel des services de la circulation aérienne ou d'entretien (voir Figure 7-12).

7.5.18 Le système affiche les renseignements suivants:

- a) température de surface de la piste (température réelle de la chaussée à l'emplacement du détecteur);
- b) chaussée sèche (aucune humidité perceptible);
- c) chaussée mouillée (humidité visible à la surface);
- d) prévision de verglas (alerte en cas de formation imminente de verglas); pour cela, le verglas doit se former sur la tête du détecteur avant de se former sur la chaussée, le temps de préavis dépendant de la rapidité de la chute de température;
- e) formation de verglas (présence de glace perceptible sur la chaussée);
- f) température de l'air ambiant, vitesse et direction du vent à proximité de la piste;
- g) précipitation en cours, tous types;
- h) humidité relative et température du point de rosée;
- i) facteur chimique (indication de la concentration relative des produits chimiques de déglacage demeurant en solution sur la chaussée).

7.5.19 Le système fonctionne automatiquement 24 heures par jour, ce qui permet de détecter les changements d'état plus rapidement que par d'autres méthodes.

7.5.20 Suivant le nombre des dispositifs de mesure installés sur la chaussée, le système peut détecter des changements rapides dans les conditions. En conséquence, une formation rapide de verglas sur une piste mouillée sera détectée électroniquement, même si la température de l'air reste au-dessus du point de congélation. Il convient de noter que les moyens classiques seraient inefficaces en pareil cas.

7.5.21 Le personnel d'entretien peut consacrer son temps plus utilement à empêcher la formation de glace qu'à effectuer constamment des mesures du frottement.

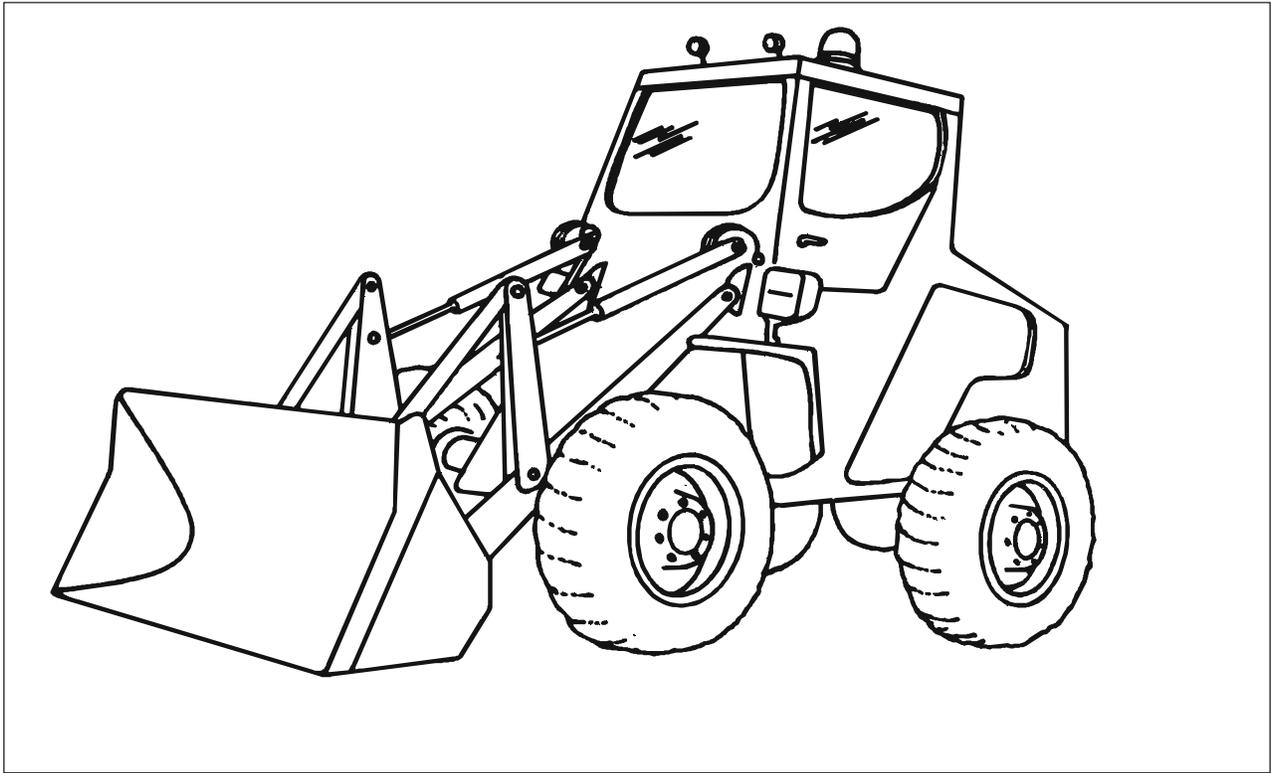


Figure 7-10. Chargeur frontal

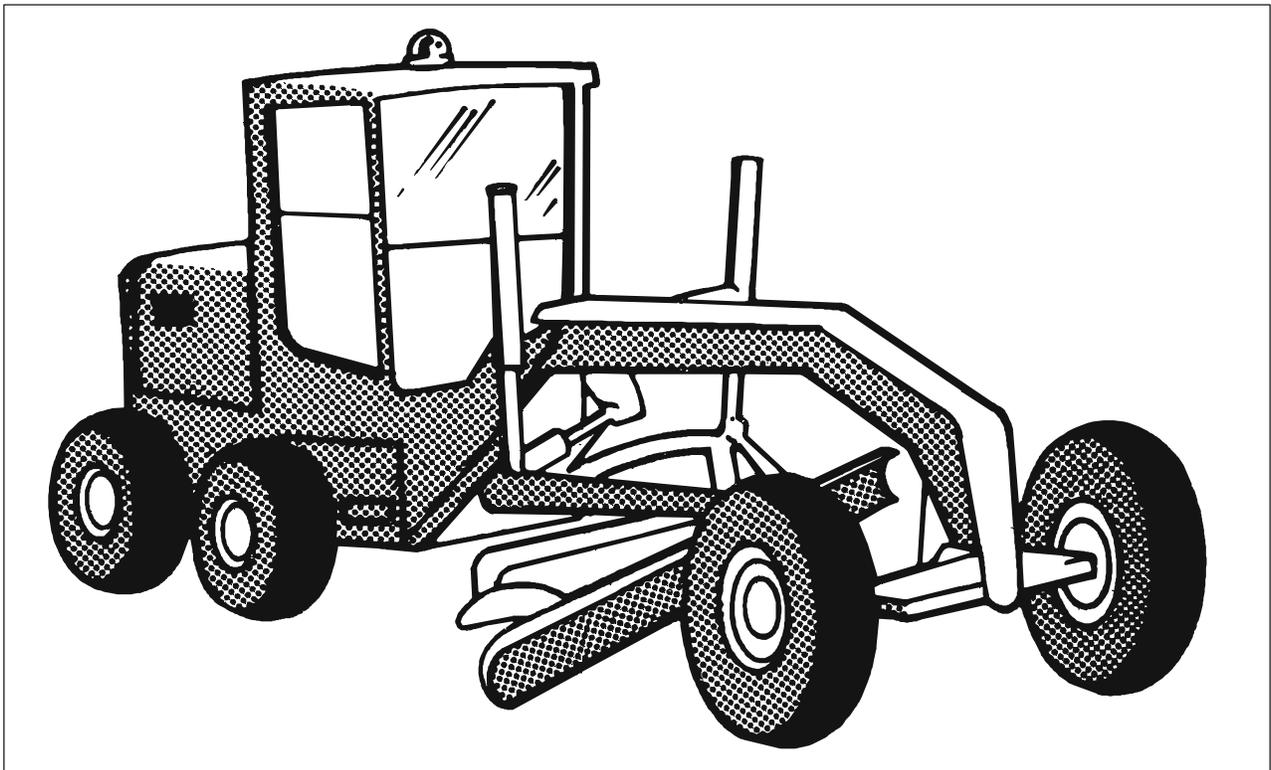


Figure 7-11. Motoniveleuse

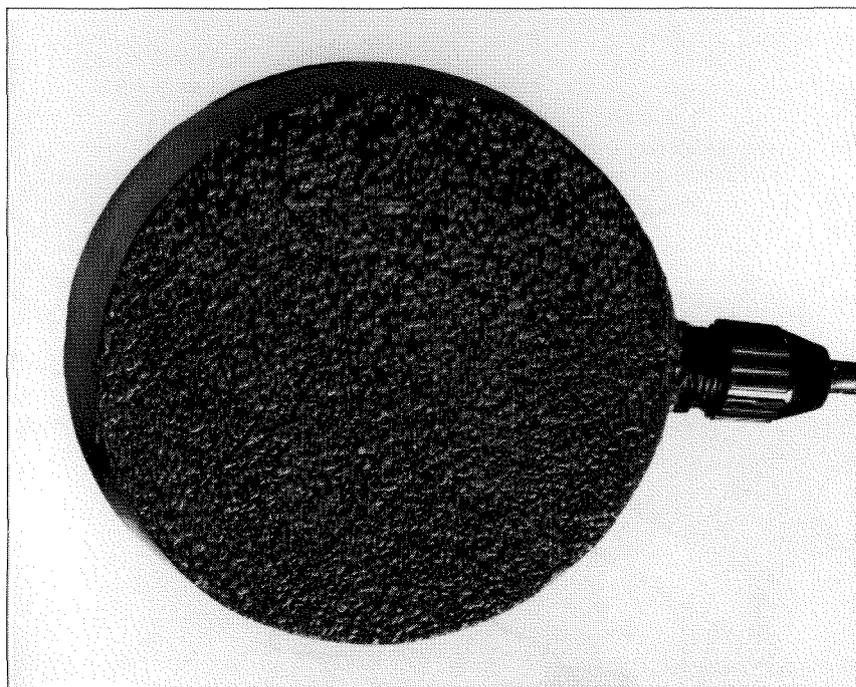


Figure 7-12. Détecteur de surveillance de l'état de la surface de piste

7.5.22 Un système continu fournit des informations plus fiables, car les données les plus récentes sur le frottement dynamique transmises par les pilotes sont rapidement périmées en cas de changement soudain dans les conditions météorologiques. L'introduction manuelle des données SNOWTAM sur le visuel du système est plus facile et plus rapide. Les données figurant dans le SNOWTAM précédent resteront valables jusqu'à ce qu'elles soient changées, et seules les fonctions automatiques seront continuellement mises à jour. Il est possible de présenter les données de façon à faire ressortir l'évolution passée ou la tendance de la situation, sous forme de graphiques ou dans tout autre format choisi par l'utilisateur. D'autre part, ces données peuvent être transmises, en totalité ou en partie, à un endroit quelconque en utilisant les lignes téléphoniques normales. Le visuel peut également afficher d'autres conditions existant sur la piste, ou des données relatives à la sécurité de l'exploitation, qui sont entrées dans le système manuellement ou par liaison radio.

7.5.23 L'expérience a démontré que le système offre les avantages ci-après:

a) du point de vue de la sécurité — le système d'avertissement de risque imminent de verglas permet d'appliquer les matériaux déglacants avant la formation du verglas. Par opposition au déglacage, la prévention du verglas assure de meilleures caractéristiques de frottement sur les pistes, améliore leur utilisation et réduit l'usage d'abrasifs;

b) du point de vue des coûts — l'utilisation de produits chimiques et d'abrasifs uniquement lorsque les détecteurs en indiquent la nécessité et l'emploi de quantités plus faibles de produits déglacants en traitement préventif permettent de réaliser des économies considérables.

7.5.24 Le choix du nombre de détecteurs qu'il convient d'installer sur chaque piste dépend de plusieurs facteurs. Ces derniers sont indiqués à la Figure 7-13.

#### *Acquisition du matériel de déneigement*

7.5.25 Quelle méthode faut-il adopter pour garantir que chaque aéroport est à même de satisfaire à ses besoins en matière de déglacage et de déneigement? Pour des raisons économiques, il faut tout d'abord choisir le matériel essentiel. Étant donné que la majeure partie de la neige qui doit être enlevée des chaussées passera en fin de compte par la souffleuse, cette dernière devrait déterminer le choix de l'ensemble du matériel de déneigement dont elle constitue le noyau. Chaque souffleuse est ordinairement secondée par deux chasse-neige. La plupart des grands aéroports ont également besoin d'épandeurs d'abrasifs, d'épandeurs d'urée, de camions-citernes pour déglacants liquides, de balayeuses et de chargeurs frontaux. Le choix du matériel est fondamental pour l'application du principe de l'utilisation combinée de souffleuses et de chasse-neige (voir Figure 7-14).

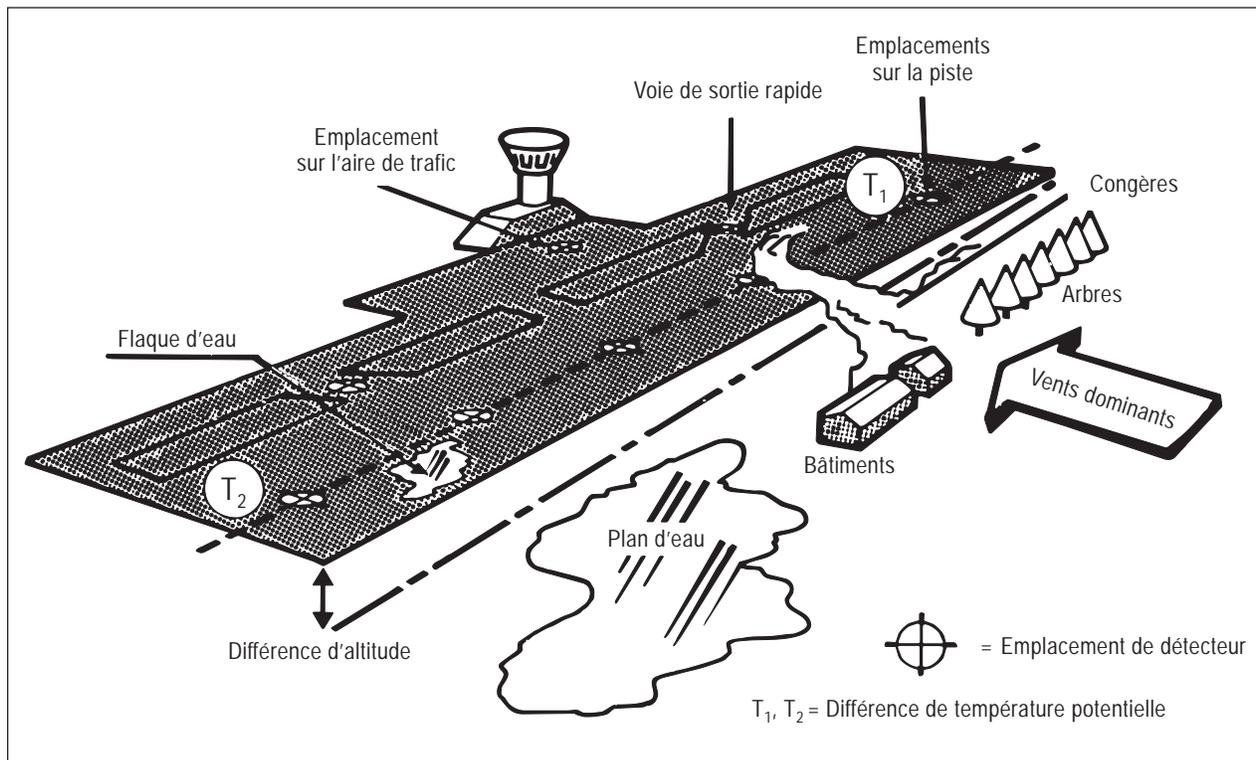


Figure 7-13. Facteurs conditionnant l'emplacement des détecteurs

#### ***Aéroports desservis par des services réguliers de transport aérien***

7.5.26 Le matériel minimal de déneigement qui est recommandé pour l'entretien des aires opérationnelles d'un aéroport desservi par des services réguliers de transport aérien devrait pouvoir enlever 2,5 cm de neige sur l'une des pistes principales et déblayer une ou deux voies de circulation principales reliant la piste à l'aire de trafic. En outre, il faudrait déblayer un nombre suffisant de postes de stationnement pour les avions attendus durant les périodes de neige, ainsi qu'une superficie correspondant à environ 20 % de l'aire de trafic si les vols d'aviation générale représentent une partie importante de l'activité de l'aéroport.

7.5.27 Le matériel recommandé devrait comprendre au minimum une ou plusieurs souffleuses à grande vitesse. Leurs performances démontrées ou certifiées par le constructeur doivent être telles qu'elles puissent projeter de la neige ayant une masse volumique de  $400 \text{ kg/m}^3$  à une distance minimale de 30 m (mesurée entre l'engin et le point de projection le plus éloigné) de façon à dégager les zones mentionnées en 7.5.26 dans les délais suivants:

a) plus de 40 000 vols réguliers par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins de 30 minutes;

b) de 10 000 à 40 000 vols réguliers par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins d'une heure;

c) de 6 000 à 10 000 vols réguliers par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins de deux heures;

d) moins de 6 000 vols réguliers par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins de deux heures.

7.5.28 Chaque souffleuse à haute vitesse devrait être secondée par deux chasse-neige. Les souffleuses et les chasse-neige devraient avoir des performances comparables.

7.5.29 Les aéroports devraient prévoir une épandeuse à trémie montée sur camion pour les matériaux granulaires comme le sable ou l'urée en grains, ou une épandeuse de liquide par  $70\,000 \text{ m}^2$  de piste principale. En outre, ils devraient être équipés d'une balayeuse automotrice à haute vitesse ou d'une balayeuse tractée par camion par  $70\,000 \text{ m}^2$  de piste principale.

7.5.30 Il faut également prévoir un chargeur frontal équipé d'un godet d'une capacité minimale de  $1,15 \text{ m}^3$  pour charger le sable ou l'urée dans les épanduses et pour diverses opérations de déneigement sur l'aire de trafic, autour des feux (pistes et voies de circulation), etc. Le chargeur frontal devrait également être équipé d'un godet à neige d'une capacité de 6 à  $7,5 \text{ m}^3$ .

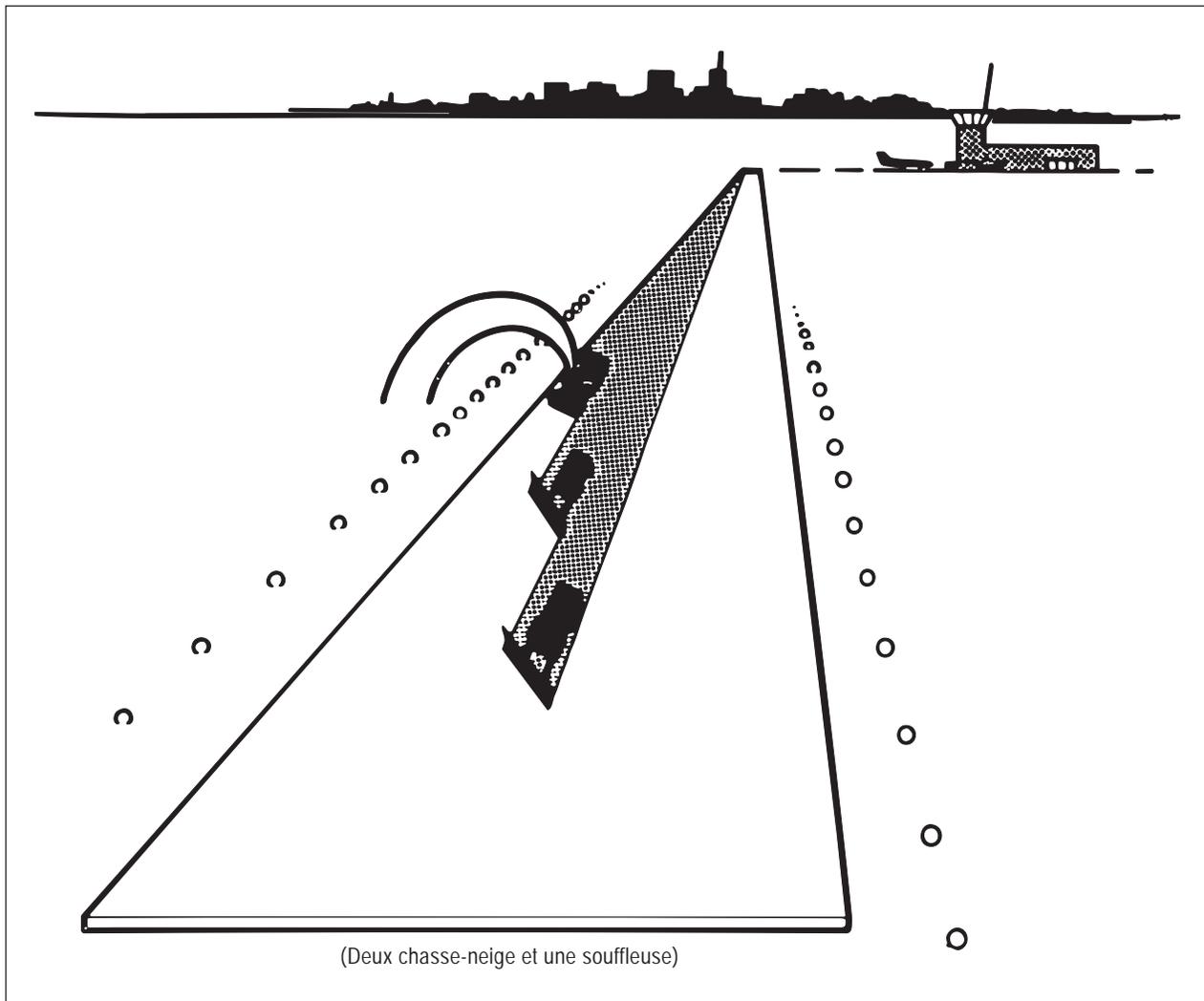


Figure 7-14. Enlèvement de la neige en équipe

#### *Aéroports d'aviation générale*

7.5.31 Le matériel minimal de déneigement recommandé pour l'entretien des aires opérationnelles d'un aéroport d'aviation générale pendant les périodes de neige devrait pouvoir enlever 2,5 cm de neige sur une piste principale, ou sur la piste la mieux orientée par rapport aux vents dominants; il devrait aussi pouvoir déblayer une voie de circulation principale reliant la piste à l'aire de trafic et 20 % de la superficie de cette dernière.

7.5.32 Le matériel de déneigement minimal recommandé pour les aéroports fréquentés exclusivement par des avions d'aviation générale d'une masse brute inférieure à 5 700 kg devrait comprendre une ou plusieurs souffleuses à haute vitesse.

Leurs performances démontrées ou certifiées par le fabricant doivent être telles qu'elles puissent projeter de la neige ayant une masse volumique de  $400 \text{ kg/m}^3$  à une distance minimale de 15 m (mesurée entre l'engin et le point de projection le plus éloigné) de façon à dégager les aires mentionnées ci-dessus dans les délais suivants:

- 40 000 mouvements par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins de deux heures;
- de 6 000 à 40 000 mouvements par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins de quatre heures;
- moins de 6 000 mouvements par an: enlèvement de 2,5 cm de neige en moins de quatre heures, lorsque cela est possible.

7.5.33 Chaque souffleuse à haute vitesse devrait être secondée par au moins un chasse-neige ayant des caractéristiques de performances similaires.

#### *Application des critères de sélection*

7.5.34 La capacité de déneigement requise à un aéroport donné variera en fonction du temps dont on dispose pour débayer les aires opérationnelles et de la surface à débayer. En fait, cette capacité doit être proportionnelle à la quantité de neige à enlever. Le temps de déblaiement est fixé en fonction de la catégorie d'exploitation de l'aéroport. La superficie à débayer étant également connue, la quantité de neige à enlever est aussi déterminée puisqu'il est admis comme hypothèse de base que l'épaisseur de la couche de neige accumulée est de 2,5 cm.

7.5.35 L'expression générale ci-après peut être appliquée à un aéroport donné:

- a) le temps de déblaiement est déterminé;
- b) la superficie de la chaussée à débayer est déterminée;
- c) la capacité de déneigement est donc fonction de la superficie de la chaussée à débayer,

$$dN/dt = K N_0 \text{ ou, } N/N_0 = K \text{ pente}$$

où  $N_0$  = superficie de la chaussée à débayer ( $m^2$ ),

$$dN/dt = N = \text{capacité de déneigement (t/h),}$$

$K$  = constante de proportionnalité.

Cette relation du premier ordre est linéaire et il est possible de tracer la droite correspondante pour chaque catégorie d'aéroport. Le graphique de la Figure 7-15 représente le cas général.

7.5.36 *Exemple de choix d'une souffleuse.* L'exemple ci-après montre comment choisir concrètement un matériel complet de déneigement en fonction des données ci-dessus.

- a) Déterminer la superficie totale de l'aire opérationnelle essentielle de l'aéroport. Supposer que les opérations de déblaiement commencent dès que l'épaisseur de la couche de neige atteint 2,5 cm.
- b) Déterminer le temps dont on dispose pour le déblaiement en fonction du nombre annuel total de mouvements. Par exemple, pour 40 000 vols réguliers ou plus par année, le temps accordé pour le déblaiement est d'une demi-heure.
- c) Pour les besoins du calcul, la masse volumique de la neige est fixée à  $400 \text{ kg/m}^3$ .

- d) La température moyenne est de  $-4^\circ\text{C}$  avec un vent nul. Les valeurs normalisées de la température et de la vitesse du vent n'apparaissent pas de façon explicite dans les calculs. Le vent étant nul, il ne provoque pas le déplacement de la neige, ce qui évite d'avoir à introduire un autre paramètre dans les calculs. La température de  $-4^\circ\text{C}$  a été choisie parce qu'à cette température, la neige a une masse volumique relativement constante et voisine de  $400 \text{ kg/m}^3$  et qu'elle n'a pas tendance à se changer en neige fondante ou en glace.
- e) Le rendement de la souffleuse est estimé à 70 %. Il ne s'agit pas du rendement théorique, mais du rendement global observé dans des conditions de travail réelles. Il tient compte du déplacement de la neige sous l'effet du vent, des variations dans la masse volumique de la neige, de la mauvaise visibilité, du patinage des roues, du temps perdu lors des demi-tours, des problèmes posés par la formation des équipes, des problèmes mécaniques mineurs et du rendement des véhicules. D'après l'expérience acquise par les utilisateurs et les constructeurs, cette valeur de 70 % semble raisonnable.
- f) Compte tenu des indications ci-dessus, les calculs relatifs au choix des souffleuses peuvent se faire comme suit:
  - 1) multiplier la superficie opérationnelle essentielle de l'aéroport par l'épaisseur initiale de la couche de neige pour obtenir le volume de la neige;
  - 2) multiplier par la masse volumique pour obtenir la masse de la neige en kilogrammes;
  - 3) diviser par le rendement du véhicule;
  - 4) diviser par le facteur temps (temps alloué en fonction du nombre annuel de mouvements);
  - 5) convertir en tonnes par heure;
  - 6) choisir le nombre minimal de souffleuses qui correspond à la capacité de déneigement recherchée.

7.5.37 À titre d'exemple, les calculs ci-après ont été effectués pour un grand aéroport:

#### *Choix de la souffleuse*

<i>Étape 1.</i> Détermination de la surface à débayer	$m^2$
Piste principale = $2\,800 \times 45$	126 000
Voie de circulation (y compris les bretelles)	17 000
Congés de raccordement	2 000

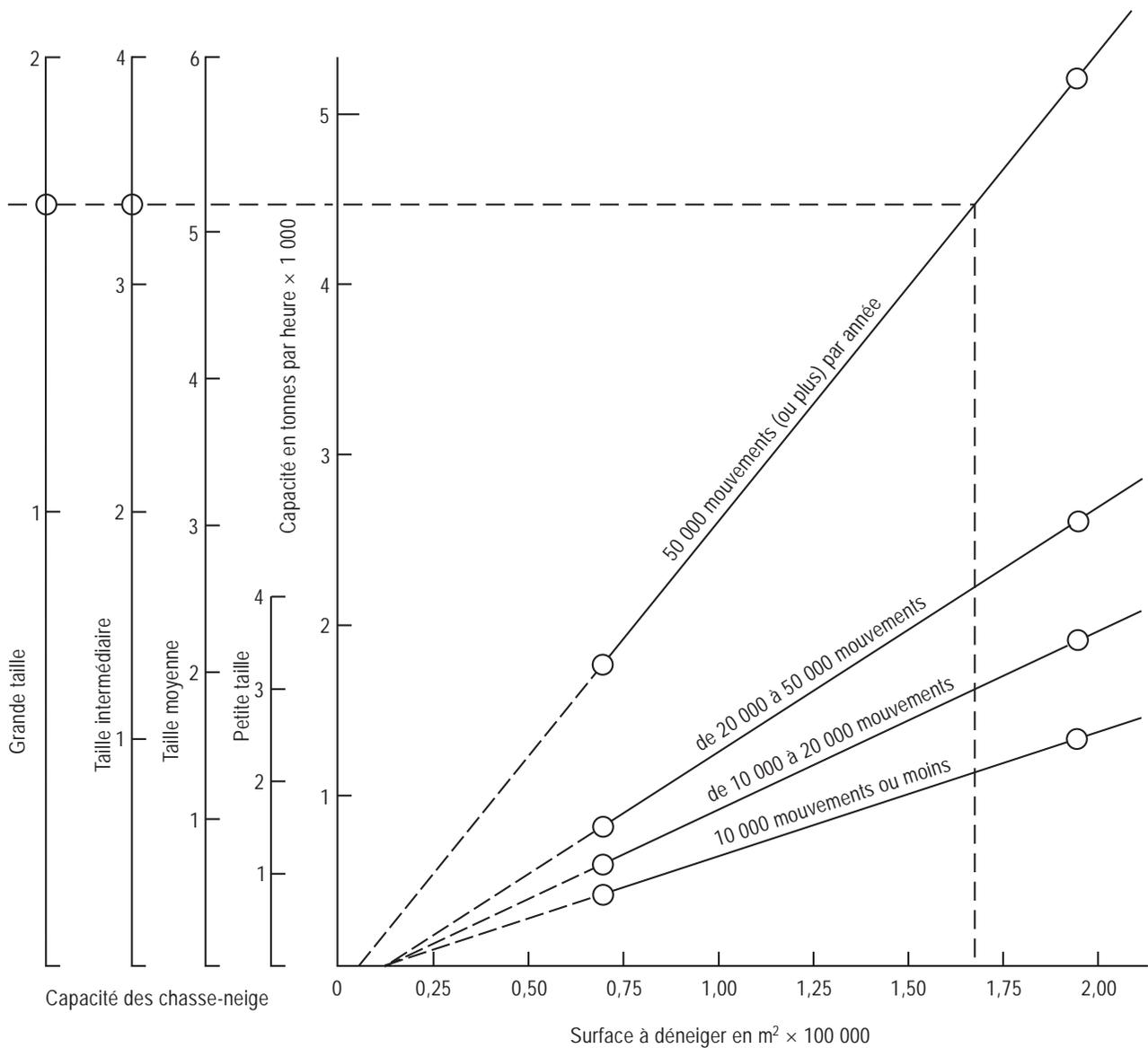


Figure 7-15. Graphique de sélection des souffleuses

Aire réservée aux véhicules de sauvetage et de lutte contre l'incendie et voie d'accès	2 000
Aire de trafic (25 % des 16 000 m <sup>2</sup> réservés au stationnement)	4 000
Plates-formes antisouffle (2 de 75 × 30 m)	4 500
Divers	2 000
<b>Superficie totale à déblayer</b>	<b>157 500</b>

Note.— Aux fins du calcul, la valeur de la superficie totale à déblayer peut être arrondie à 160 000 m<sup>2</sup>.

Étape 2. Les paramètres ci-après sont utilisés dans les calculs:

- Superficie = 160 000 m<sup>2</sup>
- Temps alloué = 1/2 heure (plus de 40 000 vols réguliers par an)
- Température = -4 °C
- Vitesse du vent: nulle
- Masse volumique de la neige = 400 kg/m<sup>3</sup>
- Rendement de la souffleuse = 0,7 (valeur fondée sur le rendement mécanique normal)
- Profondeur de la couche de neige = 2,5 cm

Étape 3. Calcul de la capacité de déneigement nécessaire:

Volume =  $160\,000 \times 0,025 = 4\,000\text{ m}^3$   
 Masse =  $4\,000 \times 400 = 1\,600\,000\text{ kg}$   
 Rendement =  $1\,600\,000/0,7 = 2\,300\,000\text{ kg}$   
 Kilogrammes par heure =  $2\,300\,000/0,5 = 4\,600\,000\text{ kg/h}$   
 Tonnes par heure =  $4\,600\,000/1\,000 = 4\,600\text{ t/h}$

7.5.38 *Souffleuse à capacité intermédiaire.* Il en existe différents modèles. Elles ont un débit démontré ou certifié par le constructeur de 1 100 à 1 400 t/h. La distance de projection mesurée entre l'engin et le point de projection maximale par vent nul doit être de:

- 30 m pour un débit d'au moins 1 100 t/h
- 23 m pour un débit d'au moins 1 400 t/h

7.5.39 *Souffleuse à grande capacité.* Les critères de conception de cette souffleuse sont les mêmes que ci-dessus et les performances sont les suivantes:

- 30 m pour un débit d'au moins 1 600 t/h
- 23 m pour un débit d'au moins 2 300 t/h

7.5.40 Les performances déclarées des souffleuses sont considérablement inférieures aux performances réelles; dans la plupart des cas, ces dernières sont supérieures de 30 % aux valeurs nominales.

7.5.41 Étant donné qu'il faut pouvoir débayer environ 4 500 t/h à l'aéroport pris comme exemple, on voit qu'il suffit d'une souffleuse à grande capacité et d'une autre à capacité intermédiaire pour répondre aux besoins. Les mêmes résultats peuvent être obtenus sans calculs à l'aide de la Figure 7-15 à condition de connaître la superficie des zones opérationnelles essentielles à débayer.

7.5.42 En général, il ressort du principe du déneigement par équipes qui est actuellement appliqué qu'il est préférable d'utiliser des souffleuses à grande capacité. Par exemple, si la capacité de déneigement à un aéroport doit être de 2 000 t/h, le choix se portera sur une grosse souffleuse plutôt que sur trois petites. Ce choix permet également des économies dans l'achat du matériel, puisque chaque souffleuse exige normalement la présence de deux chasse-neige.

7.5.43 *Choix des balayeuses.* Le paragraphe 7.5.29 indique qu'une balayeuse à haute vitesse devrait être prévue pour 70 000 m<sup>2</sup> de piste principale. Une solution graphique simple est donnée à la Figure 7-16. Dans le cas choisi il faudra deux balayeuses.

7.5.44 *Choix des sableuses.* D'après la méthode graphique (Figure 7-16), il faudra deux sableuses/épanduses (si l'on utilise les données de 7.5.29).

### Choix et principe des chasse-neige

7.5.45 Deux chasse-neige devraient accompagner chaque souffleuse et le volume total de neige qu'ils peuvent déplacer à leur vitesse normale devrait être égal ou supérieur à la capacité de la souffleuse.

7.5.46 Lorsqu'on applique le principe du déneigement par équipes au moyen d'un ou de plusieurs chasse-neige, il est important d'adapter la capacité des chasse-neige à celle de la souffleuse. Plus précisément, il est essentiel que la capacité de la souffleuse soit égale ou inférieure à la capacité de déneigement des chasse-neige qui l'accompagnent, afin de tirer le meilleur parti de l'ensemble du matériel et particulièrement de la souffleuse.

7.5.47 La classification des chasse-neige d'après la taille ne vise pas à établir de façon rigide la longueur des lames, mais plutôt à faciliter la comparaison entre le niveau de performances des chasse-neige et celui des souffleuses. Chaque catégorie de chasse-neige correspond simplement à une gamme de longueurs de lame.

7.5.48 Le principe de la compatibilité entre les chasse-neige et la souffleuse est décrit dans les paragraphes suivants et il vise à s'assurer que la capacité des chasse-neige de l'équipe n'est pas inférieure à celle de la souffleuse.

7.5.49 La capacité de la souffleuse est déterminée en partie par le temps dont on dispose pour débayer la piste et par la quantité de neige qui recouvre celle-ci.

7.5.50 Par conséquent, pour que la capacité des chasse-neige soit adaptée à celle de la souffleuse, il faut que:

$N_{\text{chasse-neige}} \geq N_{\text{souffleuse}}$ , et

$N/N = C(L)$  = taux de déneigement du chasse-neige.

Où:

$N$  = capacité de déneigement du chasse-neige en t/h (variable en fonction de la vitesse du chasse-neige)

$N$  = quantité initiale de neige à déplacer (en tonnes)

$C/(L)$  = constante de proportionnalité dépendant de la taille du chasse-neige.

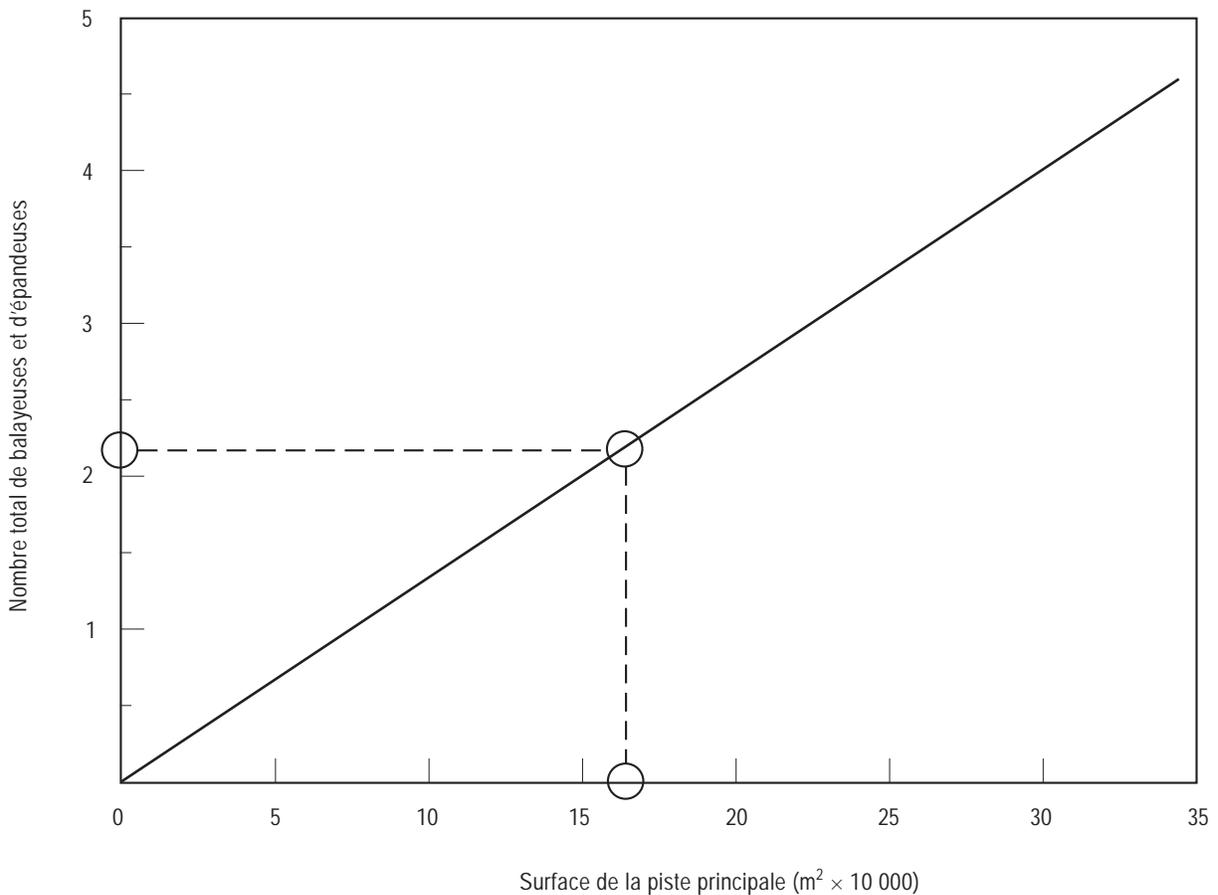


Figure 7-16. Graphique de sélection des balayuses/épandeuces

7.5.51 La capacité de déneigement nécessaire a été calculée à l'aide des relations ci-dessus en considérant la largeur minimale de déblaiement de chaque catégorie de chasse-neige; les résultats sont présentés sous forme graphique à la Figure 7-17. En admettant que la couche de neige a une épaisseur de 2,5 cm et une masse volumique de  $400 \text{ kg/m}^3$ , les capacités de déneigement des différentes catégories de chasse-neige sont représentées à la Figure 7-17 en fonction de la vitesse d'avancement.

7.5.52 En se référant au graphique «capacité-vitesse» (Figure 7-17) et en choisissant une taille de chasse-neige qui soit compatible avec la souffleuse, on choisira pour le chasse-neige une vitesse de déneigement égale ou légèrement supérieure à la vitesse moyenne de la souffleuse. La méthode est la suivante:

a) suivre la verticale correspondant à la vitesse du chasse-neige portée en abscisse, jusqu'à son intersection avec la droite correspondant à la taille de l'engin. Suivre ensuite l'horizontale passant par ce point jusqu'à ce qu'elle coupe l'axe des ordonnées sur lequel on lit la capacité du chasse-neige en tonnes par heure à la vitesse choisie;

b) cette capacité de déneigement devrait être égale ou supérieure à la capacité de la souffleuse que l'on a déjà choisie. Si l'équipe de déneigement comprend deux chasse-neige ou plus, la taille des chasse-neige peut être réduite, à condition que la somme de leurs capacités soit toujours égale ou supérieure à la capacité de la souffleuse.

7.5.53 À l'aéroport qui nous sert d'exemple, il faut prévoir une souffleuse à grande capacité et une autre à capacité intermédiaire (pour un total de 4 600 t/h). La technique générale de déneigement appliquée à cet aéroport consiste à utiliser avec chaque souffleuse un seul chasse-neige à haute vitesse, la vitesse de 32 km/h étant généralement considérée comme satisfaisante.

7.5.54 Du fait qu'une grosse souffleuse est utilisée, le choix doit se porter sur de gros chasse-neige. La vitesse étant fixée à 32 km/h, la capacité du chasse-neige est égale à 1 600 t/h (d'après la Figure 7-17). Si cette capacité n'est pas égale ou légèrement supérieure à celle de la souffleuse, il est possible de choisir un chasse-neige de plus grande taille. Deux chasse-neige

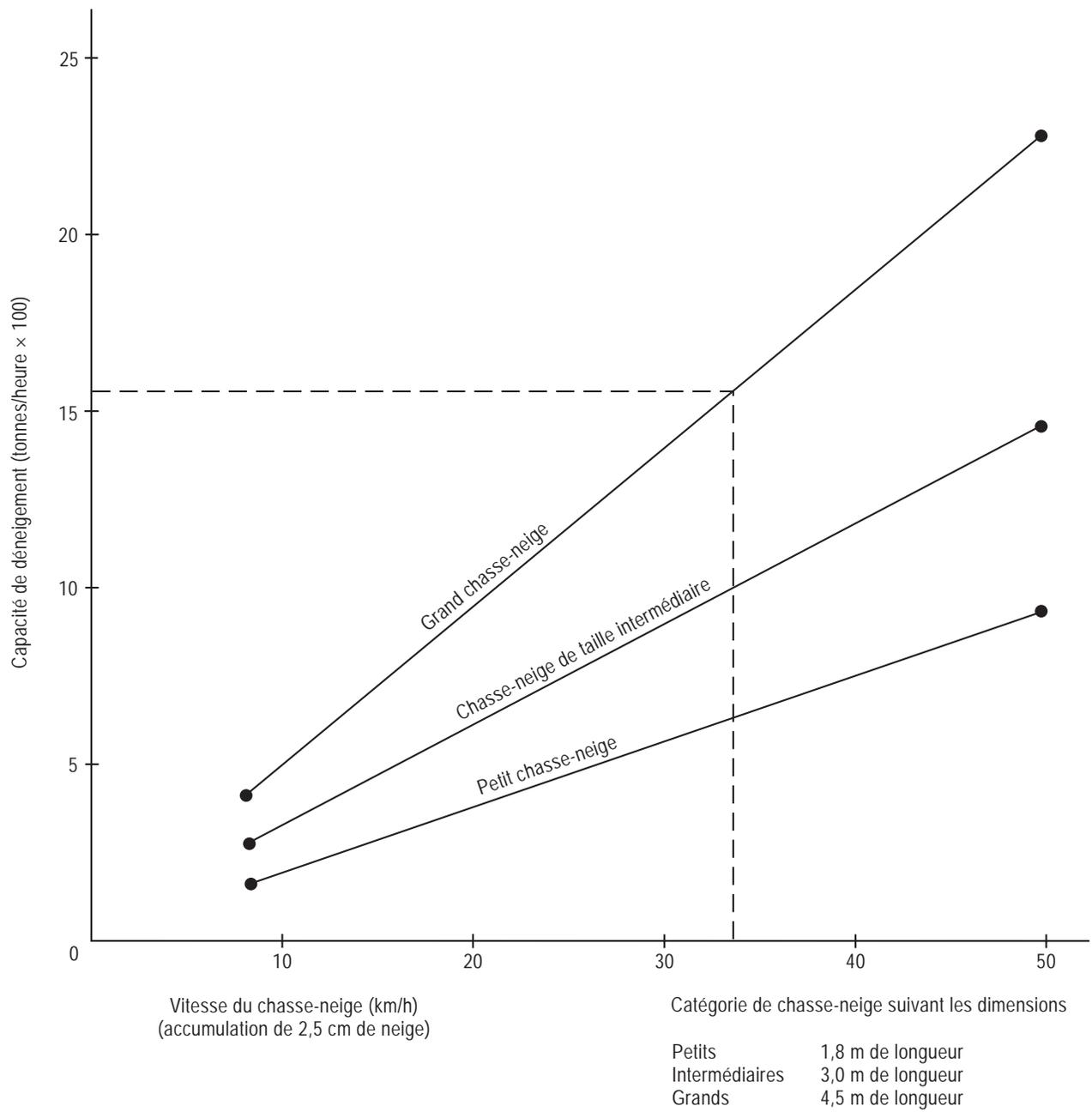


Figure 7-17. Graphique de sélection des chasse-neige

peuvent être nécessaires, ou bien la vitesse peut être légèrement augmentée. Dans le cas qui nous occupe, l'utilisation de deux chasse-neige avec une souffleuse d'une capacité de 2 800 t/h est indiquée. La classification par taille n'établit pas de façon rigide la longueur des lames. Pour déterminer la capacité de chasse-neige équipés de lames plus longues, on ajoute la capacité d'un autre chasse-neige dont la taille correspond approximativement à l'augmentation de la longueur de la lame. Par exemple, si un aéroport veut faire l'acquisition d'un grand chasse-neige équipé d'une lame de 6 m se déplaçant à 32 km/h, la capacité de la grande lame peut être déterminée comme suit:

À l'aide de la Figure 7-17, on peut déterminer qu'un chasse-neige doté d'une lame de 4,5 m déplace 1 600 t/h à 32 km/h. La capacité d'un petit chasse-neige muni d'une lame de 1,8 m est d'environ 550 t/h à la même vitesse. Un grand chasse-neige équipé d'une lame de 6 m pourra donc déplacer 2 150 t/h à 32 km/h.

7.5.55 En résumé, l'aéroport devra disposer du matériel suivant:

- deux souffleuses;
- deux balayeuses à neige;
- deux épanduses de sable;
- trois chasse-neige;
- un chargeur frontal.

7.5.56 Le texte ci-dessus expose les notions fondamentales qui régissent le choix du matériel de déneigement et l'acquisition de ce matériel à un aéroport typique. Les performances détaillées et les critères de conception du matériel de déneigement des aéroports figurent à l'Appendice 7.

## 7.6 MÉTHODES THERMIQUES

7.6.1 La méthode thermique pour l'enlèvement de la neige ne s'est pas révélée très satisfaisante à ce jour par suite des problèmes mécaniques qu'elle pose et de son coût élevé. Toutefois, certaines méthodes thermiques semblent prometteuses et l'on peut escompter une augmentation de leur emploi au fur et à mesure de la diminution du coût et de la mise au point des matériels qui sont encore au stade du prototype.

### *Chauffage des chaussées*

7.6.2 Le chauffage des chaussées au moyen d'une grille électrique installée dans la couche superficielle d'une chaussée d'asphalte ou, dans le cas des pistes en béton, à la partie supérieure des dalles, semble constituer une méthode très prometteuse pour l'enlèvement de la neige en empêchant son accumulation. Les éléments électriques sont mis en activité au

début de la tempête ou peu avant afin de maintenir la température de la chaussée au-dessus du point de congélation. Le système s'est avéré réalisable sur le plan mécanique mais le coût élevé de l'alimentation électrique a différé, pour le moment, l'adoption sur une grande échelle d'un système de chauffage des chaussées par éléments électriques. Dans l'intervalle, les recherches se poursuivent en ce qui concerne les moyens d'assurer une alimentation plus économique pour ce système à partir de sources telles que l'énergie nucléaire. Les systèmes à circulation de liquide posent de nombreux problèmes qui leur sont propres et coûtent cher à entretenir, ce qui a empêché, jusqu'à ce jour, l'utilisation de grandes installations de ce type.

### *Fusion thermique*

7.6.3 La fusion thermique ne semble pas pouvoir se comparer, à ce jour, avec les méthodes classiques d'enlèvement de la neige. Les installations à bain d'eau chaude, aussi bien mobiles que fixes, ont souvent posé des difficultés d'ordre mécanique et le taux d'élimination est relativement faible. Le coût du carburant est élevé et l'on ne peut escompter que le coût de l'installation diminuera avant que le système soit accepté sur une échelle beaucoup plus vaste, avec la baisse qui en résulte dans le coût de production. Le problème de l'évacuation de l'eau provenant de la fonte de la neige est un autre facteur qui affecte la possibilité d'accepter ce système, en particulier dans le cas des unités mobiles qui se déchargent dans les installations de drainage où l'eau risque de geler à nouveau avant d'atteindre les drains.

### *Chauffage par le souffle d'un réacteur et par lance-flammes*

7.6.4 Dans certains États, l'emploi sur les aéroports militaires du souffle d'échappement d'un turboréacteur et de torches lance-flammes est considéré comme une nouvelle méthode de déblaiement de la neige. Cependant, cette méthode de fusion de la neige accumulée est extrêmement lente, implique une consommation de carburant très élevée et des pertes de chaleur. Elle peut en outre causer des dommages à la chaussée si la chaleur n'est pas appliquée comme il convient.

## 7.7 MÉTHODES CHIMIQUES

7.7.1 On peut utiliser des agents chimiques solides et liquides pour l'enlèvement de la neige et de la glace sur l'aire de mouvement. Cependant, il faut user de grandes précautions dans l'emploi de ces produits car un grand nombre d'entre eux ont une action extrêmement corrosive sur les métaux ainsi que d'autres effets nuisibles sur les matériaux utilisés dans la construction des avions. Il faut procéder à une analyse complète de ces produits afin de s'assurer qu'ils n'auront aucun effet

néfastes sur les différentes parties d'un avion. L'emploi de chlorure de calcium ou de sodium sur l'aire de mouvement n'est pas approuvé.

7.7.2 Dans toute la mesure du possible, les produits chimiques devraient être utilisés pour prévenir la formation de glace, plutôt que pour enlever celle-ci. Si toutefois on utilise des produits chimiques liquides comme agent de déglacage (en appliquant par exemple un agent chimique liquide sur des surfaces recouvertes de neige ou de glace), il convient alors de ne pas oublier que la formation d'une substance visqueuse sur le dessus de la glace a pour effet de réduire dangereusement l'efficacité de freinage pendant près d'une heure. Toutefois, lorsqu'ils sont répandus sur une surface glacée, des agents chimiques solides pénétreront dans la glace et, après une période de temps — il est vrai, beaucoup plus longue — finiront par décoller cette glace de la surface de la chaussée, de telle sorte qu'elle pourra être balayée. L'eau de fonte qui recouvre la glace peut également entraîner des conditions d'hydroplanage visqueux. Il ne faut pas oublier que la glace recouverte d'eau ou d'un agent chimique liquide constitue pour un avion, quelle que soit sa vitesse de roulage, y compris la vitesse de circulation au sol, l'une des surfaces les plus glissantes qui soient.

7.7.3 L'emploi d'agents chimiques, aussi bien liquides que solides, devrait être très soigneusement contrôlé et surveillé afin de s'assurer que l'environnement local, et par conséquent, les groupes environnementaux, soient aussi peu affectés que possible. Ces produits ne devraient pas être toxiques, inacceptables pour les systèmes de drainage publics ni constituer un risque sérieux d'incendie ou diminuer sensiblement, par eux-mêmes, l'efficacité de freinage.

#### **Urée [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] (Carbamide)**

7.7.4 Ce produit est utilisé très couramment en raison de son efficacité aussi bien comme agent antiglace que comme agent de déglacage. Cet agent a effectivement réduit l'emploi du sable aux aéroports en général, et l'a remplacé totalement aux aéroports à climat modéré. Son emploi n'a pas d'effets secondaires néfastes sur les structures des avions et les installations aéroportuaires, mais les écologistes se préoccupent de ses effets sur les cours d'eau.

7.7.5 Normalement, l'urée est un engrais utilisé en agriculture. Ce produit contient un agent actif, l'azote, qui représente environ 45 % du total, en masse. Sous sa forme la plus appropriée, ce produit se présente en grains ou granules. Les particules sont sphériques et de dimensions relativement uniformes, comprises entre celles qui correspondent aux calibres n<sup>os</sup> 8 et 20 du tamis Tyler. Les grains sont parfois enduits de petites quantités d'argile pour les empêcher de coller et de s'agglomérer.

7.7.6 L'urée peut être utilisée en tant que produit déglaçant pour faire fondre la glace ou la neige ou en tant que produit antiglace afin de prévenir ou de retarder la formation de glace. Il est efficace jusqu'à une température ambiante de  $-9,5\text{ }^\circ\text{C}$ . Bien que l'urée possède des propriétés déglaçantes, elle est considérée essentiellement comme un antiglace. Elle est plus efficace lorsque la chaussée est mouillée, et qu'on prévoit une température égale ou inférieure au point de congélation ou lorsque l'on prévoit de la pluie et que la température de la chaussée est inférieure au point de congélation. En abaissant le point de congélation de l'eau, l'urée laisse le temps de balayer l'eau de façon à prévenir la formation de glace sur la chaussée. Lorsqu'elle est utilisée en tant que produit déglaçant, il convient d'enlever la plus grande quantité possible de neige et de glace par les moyens classiques. Pour faciliter l'enlèvement de la glace par l'emploi de l'urée, la température ambiante devrait être supérieure à  $-3\text{ }^\circ\text{C}$ . Si l'on enregistre des températures extrêmement basses après l'application de l'urée, la surface peut devenir boueuse; il est nécessaire de la balayer immédiatement. Étant donné le coût appréciable du produit, l'étalonnage et l'application devront être contrôlés avec précision. Lorsqu'il est utilisé comme antiglace, un débit d'épandage de  $20\text{ g/m}^2$  devrait être suffisant. Le produit ne devrait être appliqué que sur une section centrale de 22,5 m limitée symétriquement de part et d'autre de l'axe de la piste. Ce débit équivaut à environ 135 kg pour 300 mètres linéaires.

7.7.7 Afin de faciliter l'enlèvement de la glace, la température devrait être supérieure à  $-3\text{ }^\circ\text{C}$ ; la quantité d'urée variera suivant la température de la surface et l'épaisseur de la couche de glace. L'efficacité de l'urée est déterminée par sa concentration. L'urée a un effet résiduel qui dure plusieurs jours.

7.7.8 La masse volumique de ce produit est de  $0,72\text{ kg/dm}^3$ , soit approximativement la moitié de celle du sable. Il peut être déplacé par le vent; il est d'usage de mouiller la chaussée avant l'application ou de mouiller les grains d'urée avec de l'eau ou un déglaçant liquide (eau ou vaporisation) avant leur épandage au moyen d'un véhicule spécial (voir 7.5.13).

7.7.9 Lorsque le sablage est nécessaire, il a été constaté qu'une application d'urée juste avant le sablage augmentera l'adhérence du sable et permettra d'obtenir un coefficient de frottement plus élevé et de faciliter, par la suite, l'enlèvement de la glace. La possibilité d'utiliser l'urée pour faciliter le déglacage des chaussées ne dispensera en aucune manière de la nécessité de recourir aux meilleures méthodes de déneigement. L'expérience permettra de déterminer les conditions dans lesquelles l'emploi de l'urée s'avère le plus efficace.

7.7.10 Les producteurs emballent l'urée dans des sacs imperméables de différentes dimensions ou la livreront en vrac, pour entreposage, dans de grandes trémies surélevées (voir Figure 7-18) ou dans des aires d'entreposage aux parois de bois.

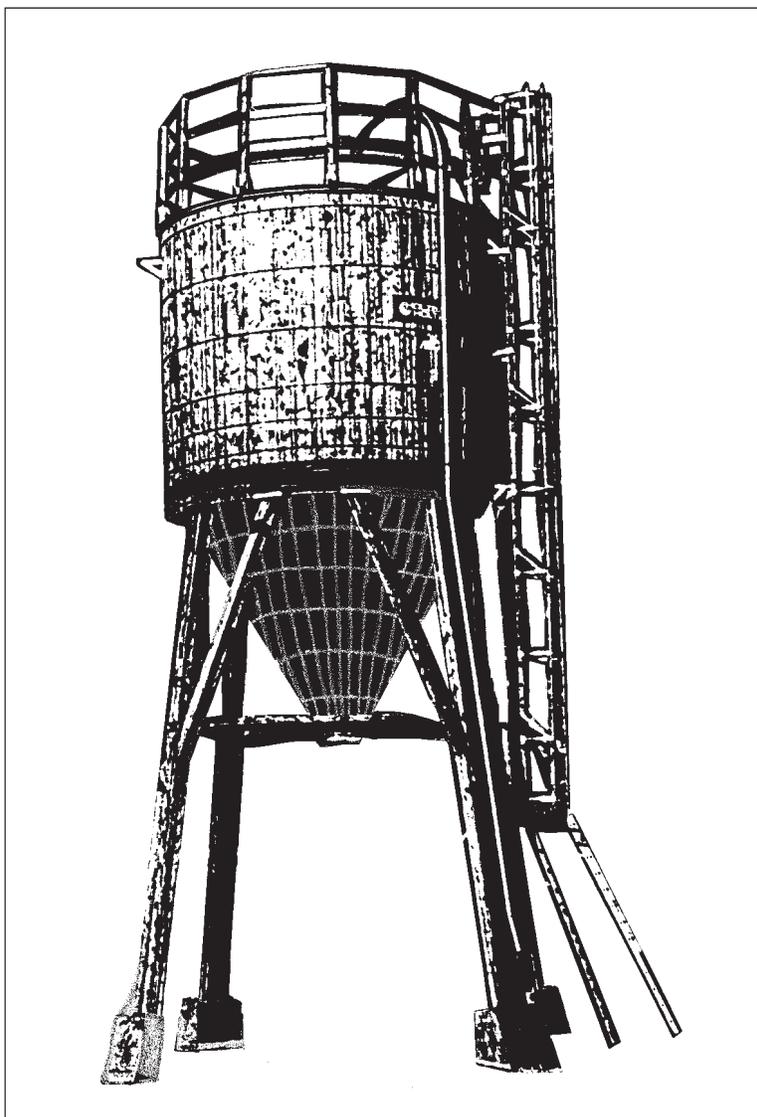


Figure 7-18. Réservoir d'entreposage de l'urée

Bien que l'urée proprement dite ne soit pas corrosive, elle est hygroscopique et l'humidité qu'elle attire peut causer de la corrosion dans l'aire d'entreposage sur les surfaces métalliques, les montures de feu, etc.

7.7.11 Lorsque la température de la chaussée est supérieure à 0 °C, il n'y a pas lieu, bien entendu, d'appliquer l'urée. Il sera donc nécessaire de déterminer la température du revêtement. Ceci peut se faire en plaçant un thermomètre sur le revêtement et en le maintenant en place pendant plusieurs minutes. Le thermomètre devrait être protégé afin qu'il ne soit pas sous l'influence du soleil ou de la température de l'air ambiant. Le thermomètre devrait être penché de façon à

permettre à la bulle de mercure d'entrer en contact avec le revêtement. Ces lectures de températures devraient être prises régulièrement et notées afin qu'elles puissent être communiquées sans délai. Les lectures devraient être effectuées sur des chaussées en béton qui auront été dégagées au préalable (voir 7.5.16 à 7.5.19).

#### *Autres agents chimiques liquides antiglace et de déglacage*

7.7.12 On travaille actuellement à la mise au point et à l'évaluation d'un certain nombre de produits chimiques liquides en vue de trouver un matériau économique pouvant être utilisé

comme agent antiglace et de dégivrage jusqu'à des températures auxquelles l'urée devient inefficace. La plupart des agents chimiques actuellement disponibles sont sans effets néfastes sur les structures des avions et les installations aéroportuaires et ils peuvent faire fondre la glace. Lorsqu'ils sont employés comme produits antiglace sur une chaussée propre, certains agents chimiques liquides peuvent provoquer une perte de traction qui est fonction de leur viscosité et de la température. Utilisés comme produits de dégivrage ils provoquent aussi une perte initiale de traction lorsqu'une pellicule d'eau de fusion recouvre la surface de la glace. L'emploi de ces agents chimiques en grande quantité est source de préoccupation pour les écologistes.

### **Abrasifs**

7.7.13 Les abrasifs (sable ou autres agrégats) peuvent être répandus sur la glace pour augmenter la traction et réduire la glissance. En certains emplacements, l'épandage de sable peut être moins coûteux qu'un dégivrage chimique et offrir l'avantage supplémentaire d'être efficace à très basse température. Par exemple, l'urée perd beaucoup de son efficacité aux températures inférieures à  $-6^{\circ}\text{C}$ . En outre, bien qu'il exige un nettoyage, le sable ne s'écoule pas et ne risque donc pas de contaminer les systèmes d'alimentation en eau. L'abrasif utilisé doit être soigneusement choisi et appliqué comme il convient; même une faible quantité de sable très fin peut causer une érosion des aubes de turbine. En conséquence, le sable ne devrait être utilisé qu'après consultation auprès des exploitants d'avions. Un matériau trop fin (qui, d'une manière générale, passe au travers d'un tamis de 0,297 mm) n'assurera pas un freinage efficace et sera facilement déplacé par le vent et le souffle des moteurs. Un matériau à gros grains (qui ne passe pas au travers d'un tamis de 4,75 mm) causera, s'il y a ingestion, des dommages aux réacteurs et endommagera les hélices à la suite d'un effet de souffle.

7.7.14 L'idéal serait que la granulométrie du sable ou de l'agrégat utilisé se situe entre les deux valeurs indiquées ci-dessus pour la taille de tamis. Ces matériaux devraient présenter des surfaces anguleuses et ils devraient être assez durs pour résister à l'écrasement au passage des avions, mais assez friables toutefois pour ne pas endommager les moteurs et les hélices. La spécification ci-après est proposée:

L'agrégat minéral sera formé de particules anguleuses de matériaux propres et secs, exempts de pierres, d'argile, de débris, de matériaux organiques, de chlorure de sodium et autres matériaux corrosifs, et sa structure physique ne sera pas modifiée par l'eau ou d'autres éléments. Le pH du matériau dans une solution aqueuse sera approximativement neutre. Le matériau présentera les caractéristiques de granulométrie suivantes:

<i>Maille de tamis (mm)</i>	<i>Pourcentage (de masse) passant au tamis</i>
4,75	100
2,36	97-100
1,18	30-60
0,30	0-10
0,18	0-2

7.7.15 L'emploi de sable disponible localement est généralement beaucoup plus économique et il conviendra de définir les spécifications utilisées pour son acquisition après avoir expérimenté les matériaux locaux. Les caractéristiques indiquées dans la spécification proposée peuvent être quelque peu ajustées pour permettre d'utiliser des matériaux locaux qui se sont révélés, à l'expérience, satisfaisants.

7.7.16 L'efficacité du sablage peut être augmentée et le risque d'ingestion par les moteurs réduit si le sable est scellé (encastré) dans la surface glacée. Le sable peut être répandu de façon plus efficace lorsqu'il est chaud et sec, étant donné que toute quantité de chaleur ainsi conservée contribuera à sceller le sable dans la glace. Une méthode permettant d'encastrement le sable, difficile à mettre en œuvre toutefois, consiste à appliquer de la chaleur une fois que le sable a été répandu en utilisant un brûleur à mauvaises herbes ou toute autre source à flamme nue. Une autre méthode consiste à appliquer un agent chimique liquide antiglace/de dégivrage dilué dans le rapport de 1/1, au taux de 10 L/900 m<sup>2</sup>, pour amollir la surface de la glace avant de répandre le sable.

7.7.17 Le sable est généralement appliqué à raison d'environ 0,5 kg par m<sup>2</sup>. Des taux plus élevés peuvent être nécessaires, en particulier lorsqu'on utilise un équipement qui n'assure pas un épandage uniforme. Un équipement déjà ancien exige souvent des taux moyens d'application plus élevés pour faire en sorte que toutes les parties du schéma de distribution reçoivent une couverture suffisante de sable. Il est recommandé d'utiliser une zone d'essai pour déterminer le taux optimal d'application du sable afin d'obtenir la texture superficielle souhaitée.

7.7.18 Les petits amas de sable qui se forment lorsque le véhicule d'épandage s'arrête momentanément sont dangereux pour les mouvements des avions et devraient être enlevés avant de remettre en service la surface traitée. Il convient d'enlever le sable aussitôt que la glace fond et que l'eau s'évapore afin de réduire le plus possible le risque d'ingestion par les moteurs et de balayage causé par le souffle des réacteurs.

7.7.19 Il convient d'apporter un soin particulier à l'emmagasinement du sable ou autres agrégats car toute humidité se traduira par la formation de masses compactes gelées difficiles à utiliser et susceptibles d'endommager gravement les moteurs.

## **7.8 MATÉRIAUX UTILISÉS POUR ENLEVER LA GLACE SUR LES AIRES AUTRES QUE L'AIRE DE MOUVEMENT**

### ***Chlorure de sodium (sel gemme)***

7.8.1 Ce matériau peut être utilisé pour faire fondre la glace sur les routes et les trottoirs, en le répandant à la main ou à l'aide d'une épandeuse. Il est efficace jusqu'à une température d'environ -12 °C, mais il est hautement corrosif sur les métaux et nuisible pour le béton de ciment Portland et pour la végétation. Il ne doit pas être utilisé sur l'aire de mouvement ou au voisinage de cette aire.

### ***Chlorure de calcium***

7.8.2 Ce matériau peut être utilisé pour faire fondre la neige ou la glace. Il est très semblable au chlorure de sodium, à ceci près qu'il est efficace jusqu'à environ -18 °C et plus

corrosif. On le répand de la même manière que le chlorure de sodium. Ces deux types de chlorure peuvent être mélangés à un matériau abrasif pour augmenter l'adhérence sur les surfaces glacées ou pour abaisser la température de fusion de la neige et de la glace. On ne devrait pas utiliser de chlorure de calcium sur l'aire de mouvement ou à proximité. On pourra faire passer des balayeuses à brins d'acier sur les surfaces ainsi traitées pour faciliter la dispersion de l'eau après la fonte de la neige ou de la glace.

## **7.9 ENLÈVEMENT DE LA NEIGE FONDANTE**

Pour enlever la neige fondante de façon efficace il est essentiel que les exploitants, les organismes ATS et les autorités aéroportuaires travaillent en étroite collaboration. Les procédures à appliquer sont semblables à celles qui ont été décrites dans la section précédente pour l'enlèvement de la neige.



# Chapitre 8

## Enlèvement du caoutchouc

### 8.1 GÉNÉRALITÉS

8.1.1 Le caoutchouc, déposé par les pneus des avions dans la zone de toucher des roues, au moment de l'atterrissage, masque les marques de piste et, lorsqu'il est humide, crée une zone extrêmement glissante à la surface de la piste. Les méthodes d'enlèvement du caoutchouc sont fondées sur l'emploi:

- a) de solvants chimiques;
- b) d'un jet d'eau à haute pression;
- c) de solvants chimiques et d'un jet d'eau à haute pression;
- d) d'air comprimé à haute température.

8.1.2 Pour évaluer l'efficacité d'une méthode d'enlèvement du caoutchouc, il faut bien comprendre l'objectif visé, à savoir: rétablir un bon coefficient de frottement sur piste mouillée qui assure à tous les avions des conditions d'utilisation sûres. Un changement de la couleur de la surface, qui passe par exemple du noir au gris sur un revêtement en béton de ciment Portland, peut être très trompeur car il suffit d'une petite quantité de caoutchouc qui reste dans les pores du revêtement pour abaisser les valeurs du coefficient de frottement, alors que la surface donne une impression générale de propreté. Il est donc indispensable de quantifier le coefficient de frottement au moyen d'un dispositif de mesure fiable.

8.1.3 Dans la plupart des cas, le jet d'eau à haute pression est assez efficace lorsqu'il y a peu de caoutchouc, mais son efficacité diminue au fur et à mesure qu'augmente l'épaisseur du dépôt. Suivant le type des avions et le nombre des mouvements, il peut être nécessaire de procéder à un nettoyage deux fois par an. Une méthode moderne consiste à dissoudre les dépôts de caoutchouc au moyen de solvants chimiques, puis à rincer complètement la surface avec un jet d'eau à haute pression.

8.1.4 Pour déterminer la quantité de caoutchouc dont il faut débarrasser la chaussée afin d'en rendre la surface acceptable, il est recommandé d'utiliser une zone d'essai pour déterminer à l'avance la pression d'eau et la cadence d'arrosage qui sont nécessaires pour obtenir cette surface acceptable. Dans des conditions de travail normales, le nettoyage au moyen d'un

jet d'eau à haute pression est effectué à raison de 278 m<sup>2</sup> par heure et par appareil. Le remplissage d'une citerne à eau de capacité normale prend deux heures environ par journée de travail de huit heures. Par conséquent, il faudrait 100 heures environ pour traiter une zone de toucher des roues de 900 × 24 m avec un appareil.

8.1.5 La technique de l'air comprimé à haute température fait appel à des gaz très chauds pour enlever, en les brûlant, les dépôts de caoutchouc laissés par les pneus des avions. Elle convient pour les pistes en béton de ciment Portland et pour les pistes en béton asphaltique. On a affirmé que, étant donné que la surface de la piste ne subit aucune intervention d'ordre mécanique, il n'y a guère de risque que le matériau de revêtement se détache et qu'il en résulte l'ingestion, par les réacteurs, de corps étrangers. Il faut toutefois procéder avec précaution et surveiller de près l'état de la chaussée quand on utilise cette technique sur une piste en béton asphaltique.

### 8.2 MÉTHODES CHIMIQUES

8.2.1 Des solvants chimiques sont employés avec succès pour enlever les dépôts de caoutchouc à la surface des chaussées en béton de ciment Portland et en béton asphaltique. Dans le cas des chaussées de béton, on utilise des produits chimiques à base d'acide crésylique (un dérivé de la créosote) ou d'un mélange de benzine et de détergent synthétique servant d'agent de mouillage. Dans le cas des chaussées d'asphalte, on utilise des produits chimiques alcalins.

8.2.2 Étant donné le caractère volatil et toxique du composé chimique de nettoyage, il importe de faire preuve d'une PRUDENCE EXTRÊME pendant et après l'application. Si on laisse le produit chimique pendant trop longtemps sur la surface de la chaussée, la peinture et peut-être la surface même peuvent être endommagées. Lorsqu'on rince la surface de la chaussée, il faut diluer le composé de nettoyage, de manière qu'il ne risque pas de nuire à la végétation et à la faune environnantes ou au système d'égouts ni de polluer les cours d'eau.

8.2.3 Comme le processus d'application consiste à asperger la zone à traiter avec la solution, à attendre une heure

tout au plus, puis à laver et à balayer, il est probable qu'une zone de toucher des roues de 900 × 24 m pourrait être traitée pendant les huit heures de travail d'une équipe. Une méthode moderne pour l'enlèvement des dépôts de caoutchouc à la surface des chaussées consiste à dissoudre ces dépôts au moyen de solvants chimiques, puis à rincer la zone au moyen d'un jet d'eau à haute pression.

### 8.3 MÉTHODES MÉCANIQUES

#### 8.3.1 Appareil de nettoyage au jet d'eau à haute pression.

Cet équipement va des simples lances à main alimentées par un camion-citerne équipé d'une pompe jusqu'aux semi-remorques très perfectionnées, équipées d'une pompe, d'une citerne de 22 700 L et d'une rampe oscillante à haute pression (Figure 8-1).

Des pressions variant entre 350 kg/cm<sup>2</sup> et 700 kg/cm<sup>2</sup> sont courantes.

8.3.2 *Appareil de nettoyage à air chaud comprimé.* Cette machine fonctionne avec un mélange d'air et de gaz introduit dans une chambre de combustion où l'allumage a lieu. Les gaz d'échappement sortent par des orifices et sont projetés directement sur la chaussée à une vitesse d'environ 400 m/s et à une température voisine de 1 200 °C. Ces gaz ramollissent et arrachent les particules de caoutchouc. L'emploi de cette machine sur les surfaces de béton laisse un léger dépôt de carbone qui peut être enlevé à l'aide d'une balayeuse ordinaire montée sur tracteur ou sur camion, comme on en trouve sur la plupart des aéroports. Dans le cas des chaussées de béton asphaltique, la surface de l'asphalte est légèrement ravivée et l'on affirme que l'effet produit est intéressant.

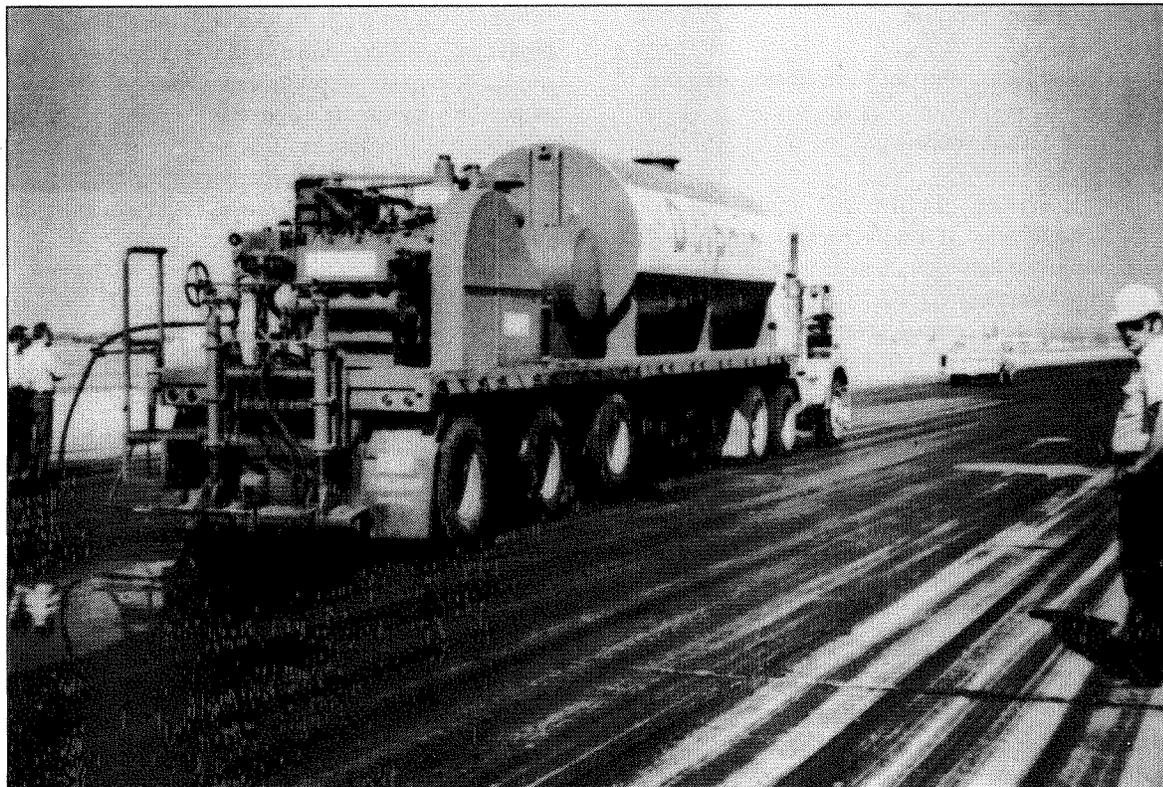


Figure 8-1. Véhicule de nettoyage au jet d'eau oscillant à haute pression

## **Chapitre 9**

### **Enlèvement de l'huile et de la graisse**

#### **9.1 GÉNÉRALITÉS**

9.1.1 Les dépôts de ce type peuvent être enlevés à l'aide de chiffons, de sciure, de sable, etc., et les résidus, nettoyés avec un détergent, au moyen d'une balayeuse rotative. Dans le cas de zones d'asphalte imprégnées d'huile, il sera probablement nécessaire d'enlever les parties détériorées du revêtement afin de pouvoir réparer ou enduire convenablement la surface de la chaussée.

9.1.2 On lave les zones tachées et imprégnées d'huile, sur les chaussées en béton, pour enlever les matériaux incrustés dans le béton en utilisant une solution détergente à base de metisilicate de sodium et de savon résineux et on balaie les dépôts au jet d'eau. Dans le cas des chaussées en béton asphaltique, on utilise un matériau absorbant comme la sciure ou le sable combiné avec un dégraissant alcalin en poudre.

---



# Chapitre 10

## Enlèvement des débris

### 10.1 GÉNÉRALITÉS

10.1.1 L'Annexe 14, Volume I, dispose que la surface des aires de trafic, des voies de circulation et des pistes doit être débarrassée de toutes pierres ou autres objets qui risqueraient d'endommager les cellules ou les moteurs ou de nuire au fonctionnement des circuits de bord. Les turboréacteurs sont extrêmement vulnérables aux dommages résultant de l'ingestion de corps étrangers. Les autres parties de l'avion sont aussi vulnérables. Des exploitants enregistrent encore des incidents au cours desquels des revêtements de cellule sont endommagés et des hélices ébréchées par la projection de pierres ou autres débris divers soulevés par le remous de sillage, par le souffle des réacteurs ou le passage des roues.

10.1.2 Bien que les dommages causés aux avions soient habituellement associés aux cas d'ingestion par les moteurs, les dommages sérieux subis par les pneus constituent également un aspect important du problème. Les entailles et les éclatements résultant du contact avec des objets pointus, des joints non traités ou des bords de chaussée en mauvais état contribuent à diminuer la durée de service des pneus et sont responsables, dans une large mesure, de leur mise au rebut prématurée. La défaillance d'un pneu pendant le roulement au décollage, qui peut avoir pour conséquence la défaillance des pneus voisins par suite de surcharge, ce qui peut entraîner une manœuvre de décollage interrompu, est particulièrement grave.

10.1.3 La présence de débris divers constitue un danger latent pour l'exploitation et a été, dans le passé, directement responsable dans des cas de décollages interrompus ou d'atterrissages d'urgence. L'aspect sécurité mis à part, le remplacement imprévu de pièces endommagées peut se traduire par des pénalisations sensibles sur le plan économique.

10.1.4 Ce problème s'est aggravé avec la mise en service des nouveaux types d'avions dont les moteurs sont disposés plus près du sol. Par conséquent, la propreté de la surface de l'aéroport dans son ensemble devrait être une préoccupation permanente et faire l'objet d'une attention constante de la part des administrations aéroportuaires.

10.1.5 Les paragraphes suivants précisent, en fonction de l'expérience acquise en exploitation, certains des points dont il

convient de tenir compte lors de l'élaboration d'un plan approprié destiné à assurer et à maintenir le niveau requis de propreté sur les aires en question.

10.1.6 L'expérience acquise avec les avions à turbomachines montre que l'une des mesures les plus efficaces de réduire le problème causé par la présence de débris sur l'aire de mouvement est l'inspection et le balayage fréquents, avec utilisation d'un équipement de balayage doté d'accessoires magnétiques. Lorsque les avions sont exploités sur un réseau de routes très étendu, il est parfois difficile de localiser l'endroit précis où ils ont subi des dommages; toutefois, les aéroports où l'on sait que l'on procède à des opérations régulières d'inspection et de balayage courent le moins de risques de rencontrer des problèmes liés aux débris.

10.1.7 Une procédure déjà reconnue à de nombreux aéroports consiste en des inspections régulières effectuées par un employé de l'aéroport accompagné d'un représentant désigné par les exploitants; cette procédure peut servir de base à des comptes rendus réguliers d'inspection d'aéroport témoignant de l'efficacité du plan de nettoyage. La mise au point des dispositions relatives à ces inspections mixtes (qui devraient prévoir l'accès à toutes les aires utilisées en exploitation, notamment aux pistes et voies de circulation, ainsi qu'à l'aire de trafic) et l'élaboration d'une formule appropriée de compte rendu pourront s'effectuer en consultation avec un représentant des compagnies aériennes exploitantes. Cette procédure a été utilisée dans un État pour l'établissement d'un plan de balayage (avec priorité et fréquence des opérations) qui comprend l'analyse des débris aux fins de déterminer leur origine. De cette manière, il est possible d'isoler les aires dans lesquelles il risque le plus d'y avoir des débris et d'intensifier les opérations de nettoyage dans ces aires. Lorsque l'on peut déterminer la source des débris, on peut également prendre des mesures correctives avec le concours des responsables. On utilise, pour l'application de ce programme de nettoyage, un plan de division de la chaussée en carrés de dimensions convenables (20 × 20 m) afin de faciliter la localisation des débris.

10.1.8 Les activités des exploitants eux-mêmes, au cours des opérations d'avitaillement-service effectuées sur leurs avions, sont évidemment une source latente de malpropreté, en particulier sur les aires de trafic. Le personnel des compagnies aériennes reçoit des instructions appropriées et des rappels périodiques sur la

nécessité de maintenir propre l'aire de trafic; toutefois, les administrations aéroportuaires peuvent également contribuer à cette propreté en fournissant un nombre suffisant de récipients avec couvercles, pour les papiers et autres débris divers, et en s'assurant qu'ils sont effectivement utilisés. De tels récipients devraient également équiper tous les véhicules régulièrement utilisés sur l'aire de mouvement, quel qu'en soit le propriétaire.

10.1.9 D'autres usagers de l'aire de trafic comme, par exemple, les fournisseurs, les pétroliers, les transitaires et les agents des compagnies assistantes ne tombent pas sous le contrôle direct des exploitants. Les administrations aéroportuaires devraient s'assurer que les responsables de ces divers services ont également pris les mesures nécessaires pour que leur personnel soit convenablement instruit en ce qui concerne le maintien de la propreté et la manière de disposer des déchets. L'emploi généralisé de sacs et feuilles de polyéthylène par les services d'approvisionnement et de maintenance, et pour assurer la protection temporaire du fret ou de divers accessoires contre les intempéries, augmente considérablement le risque d'ingestion des matériaux de ce type par un moteur et s'est avéré directement responsable d'un certain nombre de pannes de moteur. Le sable utilisé pour balayer le carburant et l'huile répandus sur les aires de trafic est une autre cause latente de dommages pour les turbomachines et les hélices et devrait être immédiatement et complètement enlevé après usage.

10.1.10 Les aires réservées au fret, étant donné le caractère même des opérations qui y sont effectuées, risquent particulièrement d'être couvertes de débris tels que bandes de cerclage, clous, morceaux de papier et de bois, qui peuvent se détacher des caisses ou autres conteneurs au cours de la manipulation des colis. On trouve également sur les aires réservées au fret d'autres objets, tels que des attaches de filet d'arrimage, des tendeurs et de grandes feuilles de polyéthylène. Lorsque des transitaires circulent sur ces aires, l'administration aéroportuaire devrait exiger qu'ils assument leur part de responsabilité pour le maintien de ces aires en bon état de propreté. Lorsque ces aires sont souvent utilisées de nuit, il est nécessaire de prévoir un bon éclairage afin d'en faciliter le nettoyage.

10.1.11 La présence, sur les voies de circulation, les aires de dérivation, les plates-formes d'attente et sur les pistes elles-mêmes, de pierres et autres débris provenant de l'érosion des aires adjacentes, peut constituer un problème; des éléments indicatifs sur les mesures préventives à prendre à cet égard, notamment le scellement des accotements des pistes et voies de circulation figurent dans la 2<sup>e</sup> Partie du *Manuel de conception des aérodromes* (Doc 9157). Une couche de scellement convenable est devenue particulièrement nécessaire par suite de la mise en service d'avions à réaction de grande capacité dotés de moteurs installés avec un porte-à-faux plus important. Aussi longtemps que les accotements des pistes et des voies de circulation ne sont pas convenablement scellés, il faut prendre

soin de s'assurer que les résidus de fauchage de la végétation et de l'herbe ne risquent pas d'être ingérés par les moteurs. De plus, les aires immédiatement adjacentes aux surfaces revêtues et scellées devraient faire l'objet d'une inspection et d'une attention régulières afin de garantir qu'il ne s'y trouve aucun débris susceptible de se déplacer ultérieurement vers les zones plus critiques.

10.1.12 Il est également possible que la surface portante elle-même se détériore, laissant sur les chaussées du sable et des fragments de béton et de bitume; en outre, les joints de béton, s'ils ne sont pas convenablement remplis, retiennent facilement les débris. Ces joints devraient être remplis afin de permettre un balayage efficace. Il semble, d'autre part, que le kérosène répandu sur les pistes et voies de circulation bituminées par la mise à l'air libre des réservoirs de carburant d'avions en mouvement, peut se traduire par une détérioration de la surface du revêtement et des cas d'ingestion par les moteurs. Ces aires devraient être fréquemment inspectées et les travaux de réparation éventuellement nécessaires devraient être rapidement exécutés afin d'empêcher une rupture du revêtement.

10.1.13 Le sable et les gravillons qui ont été répandus sur une piste recouverte de glace, pour améliorer le freinage, devraient être enlevés aussitôt qu'ils ne sont plus nécessaires. De la même manière, la chaussée devrait être débarrassée aussitôt que possible d'une neige fondante contenant du sable, des gravillons et des blocs de glace.

10.1.14 Lorsque des travaux de construction sont en cours sur un aéroport, l'administration aéroportuaire devrait, si possible, interdire l'usage de l'aire de mouvement par les véhicules des entrepreneurs ou tout au moins le réduire au minimum en imposant des itinéraires bien délimités, en particulier lorsque ces véhicules doivent transporter des charges susceptibles de se répandre sur le sol, telles que plâtras, gravier et matériaux de remplissage. La terre et les pierres qui adhèrent aux roues de ces véhicules peuvent également se détacher et constituent ensuite un danger pour les avions qui utilisent les mêmes aires. Lorsque les travaux s'effectuent à proximité étroite de l'aire de mouvement, il importe de prévoir un système de protection pour éviter que le sable et les petites pierres ne soient entraînés sur l'aire de mouvement par des vents violents ou par le souffle des réacteurs. Une fois les travaux terminés, l'entrepreneur doit enlever **tous** les débris sur les aires environnantes.

## 10.2 ÉQUIPEMENT UTILISÉ POUR ENLEVER LES DÉBRIS

10.2.1 Différentes méthodes de nettoyage des chaussées d'aéroport ont été mises au point par les administrations aéroportuaires dans le monde. L'enlèvement des débris se fait en

général au moyen d'appareils mécaniques circulant sur la chaussée à nettoyer, tels que les balayeuses rotatives, les balayeuses-aspirateurs et les balayeuses à air comprimé.

10.2.2 *Remorque à barre magnétique.* Il s'agit d'une remorque à deux roues conçue pour être tirée sur les pistes pour ramasser, par aimantation, les objets métalliques à la surface des chaussées. Des aimants permanents sont montés sur une barre à laquelle sont fixées des brosses. La barre est abaissée jusqu'à la position de balayage et l'aimant attire les objets métalliques. Cependant, il semble que les balayeuses rotatives soient plus efficaces pour enlever ces objets de la surface des chaussées.

10.2.3 Les balayeuses mécaniques devraient avoir des caractéristiques permettant d'enlever la plus grande quantité possible de débris à chaque passage du véhicule, à la vitesse de fonctionnement prescrite. Par exemple, en ce qui concerne le sable fin répandu à la surface d'une chaussée, on a réalisé un ramassage de l'ordre de 98 % en un passage à des vitesses supérieures à 16 km/h. En ce qui concerne les petits débris métalliques ferreux, des remorques magnétiques peuvent réaliser un ramassage de 100 % en un seul passage à la vitesse d'utilisation prescrite. Si les véhicules d'enlèvement mécanique de débris doivent être utilisés sur des sections de l'aire de mouvement «en service», il est particulièrement souhaitable que ces véhicules puissent fonctionner à vitesse élevée afin de gêner le moins possible les mouvements d'avions. Certaines balayeuses modernes montées sur camion peuvent fonctionner à des vitesses atteignant 40 km/h. Cependant les balayeuses mécaniques sont généralement caractérisées par une diminution sensible de l'efficacité de ramassage avec l'augmentation de la vitesse d'utilisation.

### 10.3 ESSAIS DE BALAYEUSE

10.3.1 Les balayeuses doivent être soumises périodiquement à une vérification de fonctionnement. À cette fin, un État procède de la façon décrite ci-dessous.

a) Choisir une surface plate de béton bitumineux lisse et marquer sur cette surface une section de 6 × 2 m.

b) Préparer 0,45 kg d'un mélange comprenant, en proportions égales, tous les matériaux (secs) spécifiés sous les noms de gravier moyen/fin, sable graveleux et sable moyen/fin.

1) *Gravier moyen/fin.* La granulométrie de ce matériau est telle qu'une proportion de 100 % traversera un tamis de 9,5 mm et qu'une proportion inférieure ou égale à 2 % traversera un tamis de 2,4 mm.

2) *Sable graveleux.* La granulométrie de ce matériau est telle qu'une proportion de 100 % traversera un tamis de 2,4 mm et qu'aucune particule ne traversera un tamis de 0,6 mm.

3) *Sable moyen/fin.* La granulométrie de ce matériau est telle qu'une proportion de 100 % traversera un tamis de 0,6 mm et qu'aucune particule ne traversera un tamis de 0,3 mm.

c) Réunir huit pierres de forme sphérique, d'un diamètre de 50 mm, ainsi que les objets suivants: un clou de 6 cm, un roulement à billes de 12 mm de diamètre, une petite plaque carrée d'aluminium de 50 mm de côté et de 1,2 mm d'épaisseur, un écrou de 12 mm.

d) Appliquer uniformément, sur la surface d'essai, le mélange de gravier moyen/fin, de sable graveleux et de sable moyen/fin. Disposer les huit pierres, à intervalles égaux, le long d'une diagonale de la surface d'essai et poser, le long de l'autre diagonale, le clou, le roulement à billes, le carré d'aluminium et l'écrou, à intervalles égaux.

e) La balayeuse devra fonctionner normalement et, en passant sur la surface d'essai ainsi préparée, à une vitesse de 16 km/h, elle devra ramasser et retenir 98 % du sable et du gravier et 100 % des pierres et objets divers.

10.3.2 Au cas où une balayeuse ne satisferait pas aux conditions ci-dessus, il conviendrait de prendre des mesures visant à ramener la qualité de fonctionnement de cet équipement à un niveau acceptable pour l'exploitation. La fréquence des essais sera fonction, pour une grande part, de l'utilisation de la balayeuse. Il est d'usage courant d'appliquer, pour ces essais, une fréquence hebdomadaire.



# Appendice 1

## Méthode de calcul du niveau de frottement minimal

1. Traditionnellement, l'expression «niveau de frottement minimal» (MFL) est liée à la nécessité d'assurer la sécurité des manœuvres des avions lorsque la piste est mouillée. La méthode décrite ici propose une solution rationnelle au problème que pose la détermination du niveau MFL en établissant un parallèle entre le niveau MFL sur piste mouillée et la performance d'atterrissage d'un avion sur piste mouillée, selon la définition de la Federal Aviation Administration (FAA).

2. La longueur de piste nécessaire à un avion pour l'atterrissage sur piste sèche est déterminée au cours des essais de freinage effectués en vue de la certification, comme le montre la Figure A1-1. Dans le cas d'un atterrissage sur piste mouillée, la longueur de piste nécessaire pour l'atterrissage sur piste sèche est augmentée de 15 %. Ainsi, on peut voir que les trois tronçons de la distance d'atterrissage sur piste sèche, soit distance air, distance de transition et distance de freinage, sont multipliés par les deux facteurs  $1,667 \times 1,15 = 1,92$  pour obtenir la longueur de piste nécessaire pour l'atterrissage sur piste mouillée. En fait, les

règlements FAR permettent de ramener le coefficient de frottement au freinage réalisé par l'avion sur piste mouillée à environ la moitié du coefficient de frottement au freinage sur piste sèche, soit un rapport des distances d'arrêt d'un avion freiné piste mouillée/piste sèche de 1,92.

3. La Figure A1-2 montre la variation du rapport des distances d'arrêt (SDR) (avion freiné sur piste mouillée/piste sèche) en fonction du coefficient de frottement moyen sur piste mouillée pour des biréacteurs types à fuselage étroit et des triréacteurs gros-porteurs types. Les courbes de la Figure A1-2 montrent que l'emploi du demi-coefficient  $\mu$  sur piste sèche se traduit par un rapport SDR de 1,68 pour les biréacteurs et de 1,77 pour les triréacteurs. Il convient de noter que ces rapports SDR sont inférieurs à 1,92 par suite des effets conjugués de la traînée aérodynamique de l'avion, de la résistance au roulement du pneu et du freinage des roues sur la performance d'arrêt de chaque type d'avion. Les valeurs minimales du coefficient de frottement sur piste mouillée affectées aux différents dispositifs

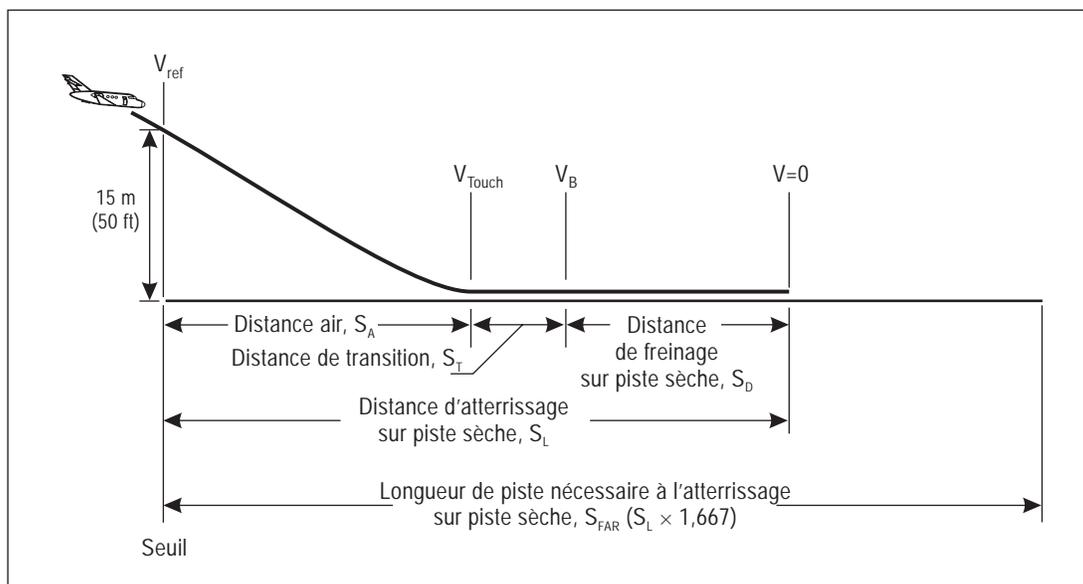
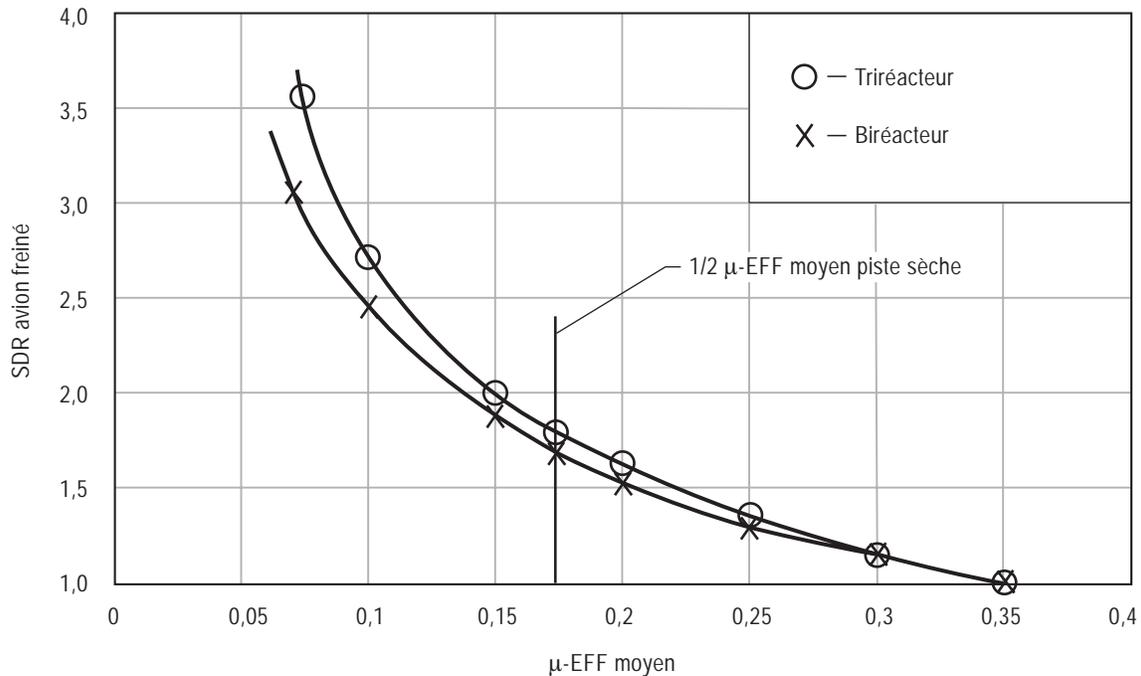


Figure A1-1. Terminologie relative à l'atterrissage



Équation de corrélation SDR avion Antvik/ $\mu$ -EFF moyen:

$$\text{SDR} = A/\mu\text{-EFF} + B/\mu\text{-EFF}^2 + C/\mu\text{-EFF}^3 + D/\mu\text{-EFF}^4 + E/\mu\text{-EFF}^5$$

A = +0,447126	A = +0,411922
B = -4,29469E-2	B = -2,6458E-2
C = +4,05005E-3	C = +2,05336E-3
D = -2,34017E-4	D = -1,01815E-4
E = +5,61025E-5	E = +2,22342E-5

**Figure A1-2. Rapport des distances d'arrêt d'un avion freiné piste mouillée/piste sèche en fonction du coefficient  $\mu$ -EFF moyen (sans utilisation de l'inversion de poussée à l'atterrissage)**

de mesure du frottement ont été arbitrairement choisies, principalement sur la base de l'expérience et de certains essais de frottement sur piste. Lorsque ces valeurs ont été choisies, il n'existait aucune méthode pour déterminer si ces chiffres se traduiraient par un rapport SDR plus élevé ou plus faible que celui obtenu en utilisant la moitié du coefficient  $\mu$  efficace moyen sur piste sèche.

4. La méthode proposée fait appel à la théorie de l'hydroplanage combiné visqueux/dynamique de la NASA pour transformer les valeurs MFL du dispositif de mesure en valeurs équivalentes du coefficient  $\mu$ -EFF de manière que l'on puisse calculer un coefficient  $\mu$ -EFF moyen sur piste mouillée. Cette valeur de  $\mu$ -EFF, calculée sur la base du MFL du dispositif de mesure, est alors introduite dans la Figure A1-2 pour déterminer

si le MFL du dispositif est réaliste ou non du point de vue de la performance d'arrêt d'un avion.

#### Procédure de calcul

5. Selon la théorie de l'hydroplanage combiné visqueux/dynamique de la NASA (voir les références 1 et 3 citées à la fin du présent appendice), les courbes frottement-vitesse établies, sur des chaussées mouillées, pour des pneus de différentes tailles, construits avec différents composés de caoutchouc et gonflés à différentes pressions, peuvent être normalisées en appliquant des rapports non dimensionnels, aussi bien pour le frottement ( $\mu/\mu\text{-ULT}$ ) que pour la vitesse ( $V/VC$ ). En utilisant cette méthode, on a pu établir les équations ci-après pour estimer

le coefficient de freinage efficace ( $\mu$ -EFF) déterminé, à la suite d'un essai de dispositif de mesure, sur piste mouillée, inondée ou recouverte de neige fondante.

6. Équations de corrélation sur piste mouillée

Pneu d'avion prévisible ( $\mu$ -MAX)<sub>A</sub>:

$$(\mu\text{-MAX})_A = (\mu_T)(\mu\text{-ULT})_A / (\mu\text{-ULT})_T \quad (1)$$

Freinage de l'avion prévisible ( $\mu$ -EFF)<sub>A</sub>:

$$(\mu\text{-EFF})_A = 0,2(\mu\text{-MAX})_A + 0,7143(\mu\text{-MAX})_A^2 \quad (2)$$

Vitesse de l'avion prévisible (V)<sub>A</sub>:

$$(V)_A = (V)_T(VC)_A / (VC)_T \quad (3)$$

Vitesse caractéristique d'hydroplanage (VC):

$$\begin{aligned} \text{Avion: } (VC)_A &= 6,35 \sqrt{P} \text{ km/h;} \\ P &= \text{pression de gonflage du pneu en kPa} \end{aligned} \quad (4)$$

Dispositif de mesure: (VC)<sub>T</sub> doit être déterminé à la suite d'un essai sur chaussée inondée (Tableau A1-1)

Coefficient de frottement caractéristique ( $\mu$ -ULT):

$$\text{Avion } (\mu\text{-ULT})_A = 0,93 - 0,0001596(P_A) \quad (5)$$

Dispositif de mesure:

( $\mu$ -ULT)<sub>T</sub> doit être déterminé à la suite d'un essai à faible vitesse (1,6-3,2 km/h) sur chaussée sèche (Tableau A1-1)

( $\mu$ )<sub>T</sub> obtenu à partir des données de mesure sur piste mouillée

(V)<sub>T</sub> vitesse d'essai de dispositif de mesure pour obtenir ( $\mu$ )<sub>T</sub>

P<sub>A</sub> pression de gonflage du pneu d'avion, en kPa

Indices: A = avion; T = dispositif de mesure du frottement

7. Exemple de calcul. Le niveau de frottement minimal (MFL) pour un dispositif de mesure du frottement sur les pistes est de 0,5 à 65 km/h et de 0,41 à 95 km/h (voir la référence 4 citée à la fin du présent appendice). La procédure ci-après de calcul par étapes transforme ces valeurs du frottement et de la vitesse en valeurs équivalentes de  $\mu$ -EFF et de la vitesse pour les avions de transport biréacteurs (Figure A1-2). On établira la moyenne de ces valeurs  $\mu$ -EFF obtenues sur une gamme de vitesses de freinage de 0 à 278 km/h (de 0 à 150 kt) pour obtenir une valeur moyenne (MFL) de  $\mu$ -EFF pour l'avion considéré, utilisable dans la Figure A1-2 pour obtenir le rapport SDR freiné, lequel peut être alors comparé avec le rapport SDR obtenu au moyen du demi-coefficient  $\mu$ -EFF sur piste sèche. Il devient donc possible de déterminer si les valeurs MFL du dispositif de

mesure, aux vitesses d'essai de 65 km/h et 95 km/h, sont réalistes ou non du point de vue de la performance d'un biréacteur de transport sur piste mouillée.

Étape 1. Utiliser l'équation (1) et le Tableau A1-1 pour calculer les valeurs de ( $\mu$ -MAX)<sub>A</sub> pour l'avion considéré, aux deux vitesses d'essai de 65 km/h et 95 km/h.

$$\begin{aligned} \text{Pour 65 km/h: } (\mu\text{-MAX})_A &= 0,5(0,76)/1,0 = 0,38 \\ \text{Pour 95 km/h: } (\mu\text{-MAX})_A &= 0,41(0,76)/1,0 = 0,312 \end{aligned}$$

Note.— Les valeurs de ( $\mu$ -MAX)<sub>A</sub> qui apparaissent ci-dessus indiquent les coefficients de frottement maximums sur piste mouillée, correspondant à ce niveau de frottement minimal sur piste mouillée, pour le pneu d'avion non freiné.

Étape 2. Utiliser l'équation (2) pour calculer le  $\mu$ -EFF pour cet avion, aux deux vitesses d'essai du dispositif de mesure.

$$\begin{aligned} \text{Pour 65 km/h:} \\ (\mu\text{-EFF})_A &= 0,2(0,38) + 0,7143(0,38)^2 = 0,179 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour 95 km/h:} \\ (\mu\text{-EFF})_A &= 0,2(0,312) + 0,7143(0,312)^2 = 0,132 \end{aligned}$$

Étape 3. Utiliser l'équation (3) et le Tableau A1-1 pour calculer les vitesses d'avion correspondant aux vitesses d'essai de 65 km/h et 95 km/h du dispositif de mesure.

$$\begin{aligned} \text{Pour 65 km/h: } (V)_A &= 65(207,5)/91,2 = 147,9 \text{ km/h} \\ \text{Pour 95 km/h: } (V)_A &= 95(207,5)/91,2 = 216,15 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Étape 4. Utiliser l'équation de régression linéaire ( $\mu$ -EFF)<sub>A</sub> = m(V)<sub>A</sub> + b et le ( $\mu$ -EFF)<sub>A</sub>, ainsi que les valeurs (V)<sub>A</sub> obtenues à la suite des étapes 2 et 3 pour élaborer et résoudre les équations simultanées.

$$\begin{aligned} 0,179 &= 147,9 m + b \\ 0,132 &= 216,15 m + b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= (0,179 - 0,132)/(147,9 - 216,15) \\ m &= -0,00068 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 0,179 - 147,9(-0,00068) \\ b &= 0,280 \end{aligned}$$

$$(\mu\text{-EFF})_A = 0,280 - 0,00068(V)_A \quad (6)$$

Le coefficient  $\mu$ -EFF moyen, établi au cours d'un atterrissage freiné à partir d'une vitesse d'application des freins de V<sub>B</sub>, est observé à la vitesse V<sub>B</sub>/√2, soit 196 km/h (106 kt) pour V<sub>B</sub> = 278 km/h (150 kt). Utiliser l'équation (6) pour obtenir le  $\mu$ -EFF moyen estimé pour (V)<sub>A</sub> = 196 km/h (106 kt).

$$(\mu\text{-EFF})_A = 0,280 - 0,00068(196) = 0,1468$$

$$\mu\text{-EFF moyen piste mouillée} = 0,1468$$

*Étape 5.* Se reporter à la Figure A1-2 et trouver le rapport SDR prévisible piste mouillée/piste sèche sur la courbe «biréacteur de transport», pour un  $\mu\text{-EFF}$  moyen piste mouillée = 0,1468 ou en utilisant l'équation de corrélation Antvik de la Figure A1-2.

$$\begin{aligned} \text{SDR} &= 0,447126/0,1468 - 4,29469E-2/0,1468^2 \\ &+ 4,05005E-3/0,1468^3 - 2,34017E-4/0,1468^4 \\ &+ 5,61025E-6/0,1468^5 \end{aligned}$$

$$\text{SDR} = 1,91$$

Cette valeur SDR (1,91) se compare au rapport SDR piste mouillée/piste sèche égal à 1,68 (d'après la Figure A1-2) et elle indique que les valeurs fournies par le dispositif de mesure du frottement pour le MFL piste mouillée sont raisonnables pour le dispositif de mesure du frottement sur les pistes Law.

*Remarque finale.* On a procédé à des calculs similaires pour des vitesses d'application des freins de 278 km/h (150 kt), 259 km/h (140 kt), 241 km/h (130 kt) et 222 km/h (120 kt), à la fois pour les biréacteurs et pour les triréacteurs de transport, en utilisant la méthode MFL. Les résultats apparaissent dans le Tableau A1-2. Ces calculs révèlent que la vitesse d'application des freins de 278 km/h (150 kt) est plus représentative d'un décollage interrompu à la vitesse  $V_1$  ou aux environs de cette vitesse, tandis

que les vitesses d'application des freins plus faibles sont plus représentatives des conditions d'atterrissage type. On peut observer, d'après le Tableau A1-2, que les vitesses inférieures d'application des freins font apparaître, entre le rapport SDR estimé (méthode MFL) et le rapport SDR réel piste mouillée/piste sèche, avion freiné, une concordance plus étroite que dans le cas d'une vitesse d'application des freins de 278 km/h (150 kt).

## RÉFÉRENCES

1. Horne, Walter, B. «Status of Runway Slipperiness Research», Transportation Research Record 624. Second International Skid Conference. Columbus, Ohio, 1977, pages 95 – 121.
2. Horne, W.B. «Correlation Between Aircraft/Ground Vehicle Runway Friction Measurements». Rédigé pour l'Association internationale des pilotes de ligne.
3. Horne, W.B. and Buhlmann, F. «A Method for Rating the Skid Resistance and Micro/Macrotecture Characteristics of Wet Pavements». Frictional Interaction of Tire and Pavement, ASTM STP 793, 1983, pages 181 – 218.
4. Anon. «Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces». FAA Advisory Circular 150/5320-12B.

**Tableau A1-1. Dispositif de mesure/pneu d'avion freiné**

Dispositif de mesure du frottement/avion	Pression de gonflage du pneu d'essai (kPa)	Coefficient de frottement caractéristique ( $\mu\text{-ULT}$ )	Vitesse caractéristique d'hydroplanage VC (km/h)
Dispositif de mesure du frottement sur les pistes	207	1,0	91,2
Dispositif de mesure du frottement de surface	207	1,1	91,2
Skiddomètre	207	1,15	91,2
Mumètre	69	1,1	80,5
Biréacteur	1 069	0,76	207,5
Triréacteur	1 207	0,738	220,5

**Tableau A1-2. Effet de la vitesse d'application des freins sur la valeur réelle et la valeur estimée du rapport SDR piste mouillée/piste sèche, avion freiné, avec la méthode MFL**

Vitesse d'application des freins [km/h (kt)]	$\mu$ -EFF estimé*	SDR estimé piste mouillée/piste sèche*	SDR calculé piste mouillée/piste sèche**	Type d'avion
278 (150)	0,1467	1,91	1,63	Biréacteur de transport
259 (140)	0,1552	1,84	1,73	
241 (130)	0,1637	1,77	1,76	
222 (120)	0,1722	1,71	1,78	
(150)	0,1469	2,04	1,76	Triréacteur de transport
(140)	0,1547	1,96	1,80	
(130)	0,1624	1,89	1,83	
(120)	0,1702	1,82	1,86	

\* Selon la méthode MFL

\*\* Avec  $\mu$ -EFF moyen piste mouillée = 1/2  $\mu$ -EFF moyen piste sèche



## Appendice 2

### Inspection visuelle des pistes aux aéroports fréquentés par les avions à réaction et qui ne disposent d'aucun équipement de mesure du frottement

#### PROCÉDURES D'INSPECTION

1. Lorsque l'aéroport ne dispose d'aucun équipement de mesure du frottement, l'exploitant devrait procéder à des inspections visuelles périodiques pour s'assurer que l'état de la surface des chaussées est acceptable pour l'exploitation. Tous les véhicules utilisés pour ces inspections devraient être dotés du matériel et des fréquences de communications appropriés. Ces dispositions visent à faire en sorte que le personnel d'exploitation de l'aéroport, aux installations contrôlées aussi bien que non contrôlées, puissent assurer la veille des fréquences du contrôle sol ou des fréquences consultatives appropriées de l'aéroport. Ces inspections devraient être exécutées conformément aux procédures ci-après.

2. *Fréquence des inspections visuelles de piste.* Les inspections visuelles de piste devraient être effectuées périodiquement sur tous les aéroports fréquentés par des avions à réaction pour faire en sorte que les surfaces de chaussées mouillées ne se dégradent pas jusqu'à un niveau inférieur au niveau minimal recommandé. Le Tableau A2-1, qui peut servir de guide pour l'établissement d'un calendrier d'inspection, indique les fréquences d'inspection proposées en fonction du nombre quotidien de mouvements d'avions à réaction pour chaque extrémité de piste.

3. *Inspection annuelle de l'état de la surface des chaussées.* Au cours des inspections visuelles de piste, il convient de consigner l'état de la surface des chaussées et notamment l'étendue et l'importance des dépôts de caoutchouc à la surface, le type et l'état de la texture de chaussée, l'existence de problèmes de drainage, l'état du traitement superficiel ainsi que toute trace de défauts structurels des chaussées. Le Tableau A2-2 illustre une méthode permettant d'estimer visuellement les dépôts de caoutchouc accumulés dans la zone de toucher des roues. L'inspecteur devrait passer la main sur la surface de la chaussée, en plusieurs endroits de la zone de toucher des roues, afin de faciliter l'estimation du pourcentage de dépôt de caoutchouc qui recouvre la texture de la chaussée. Les valeurs de  $\mu$  qui apparaissent dans le Tableau A2-2 représentent les valeurs obtenues au moyen de dispositifs de

mesure continue du frottement fonctionnant dans le mode roue freinée-taux de glissement fixe. Le Tableau A2-3 montre une méthode de codage de l'état des rainures dans les chaussées et le Tableau A2-4 montre une méthode de codage du type de revêtement. Ces codes sont fournis afin de faciliter la rédaction de notes concernant l'état de la surface des chaussées.

4. *Fréquence des mesures de la texture de chaussée.* Les mesures de l'épaisseur de la texture de chaussée devraient être effectuées au moins trois fois par an lorsque le nombre d'arrivées d'avions à réaction par jour et par extrémité de piste dépasse 31. Il conviendra d'effectuer au moins trois mesures dans chacune des trois zones (zone de toucher des roues, zone de point milieu et zone d'envol) de la piste. On consignera une épaisseur de texture moyenne pour chaque zone. Ces mesures devraient faire partie des procédures d'inspection régulières de l'état de la surface de la piste, que celle-ci fasse ou non l'objet de mesures du frottement. Ces mesures peuvent être utilisées pour évaluer la dégradation texturale du revêtement causée par l'accumulation des dépôts et par les effets d'usure et de polissage du freinage des avions. Dans le cas d'une chaussée rainurée, les mesures de l'épaisseur de la texture devraient être prises dans les zones non rainurées, par exemple à proximité des joints transversaux ou des montures de feux.

5. *Mesure de la texture superficielle de chaussée.* La procédure ci-après se révèle efficace pour mesurer l'épaisseur macrotexturale des chaussées, mais elle ne permettra pas d'évaluer les caractéristiques microtexturales du revêtement. L'épaisseur de la texture, sur toute la longueur de la piste, devrait être de 0,625 mm en moyenne pour permettre l'obtention de bonnes caractéristiques de résistance au dérapage. Pour obtenir une épaisseur moyenne de la texture, il conviendrait de prendre des échantillons représentatifs sur l'ensemble de la surface de la piste. Le nombre d'échantillons nécessaires sera fonction des variations observées dans la texture superficielle. L'équipement, la méthode de mesure et les calculs à effectuer sont décrits ci-après:

*Équipement.* On peut voir dans la partie gauche de la Figure A2-1 le tube utilisé pour mesurer le volume de

graisse, de 15 cm<sup>3</sup>. Dans la partie droite, on peut voir le poussoir très ajusté qui est utilisé pour faire sortir la graisse du tube et, dans la partie centrale, le racloir en caoutchouc utilisé pour faire entrer la graisse dans les interstices de la surface de la piste. Pour faciliter l'emploi de l'instrument, la lame de caoutchouc du racloir est collée à une pièce d'aluminium. On pourra utiliser n'importe quelle graisse universelle. Pour permettre de choisir plus facilement la longueur du tube de mesure, la Figure A2-2 donne la relation entre le diamètre intérieur et la longueur du tube pour un volume interne de 15 cm<sup>3</sup>. Le poussoir peut être fait de liège ou autre matériau élastique permettant un ajustement précis dans le tube de mesure.

*Mesure.* Le tube employé pour mesurer le volume connu de graisse est rempli entièrement à l'aide d'un outil quelconque, comme un couteau à mastic, en prenant soin d'éviter d'emprisonner des poches d'air, et les extrémités sont taillées comme indiqué dans la Figure A2-3. La Figure A2-4 donne un aperçu général de la procédure de mesure de la

texture. Les lignes de ruban à masquer sont disposées sur le revêtement à intervalles d'environ 10 cm. La graisse est alors expulsée du tube de mesure avec le poussoir et déposée entre les lignes de ruban à masquer. On fait alors entrer la graisse dans les interstices du revêtement à l'aide du racloir en caoutchouc, en prenant soin de ne laisser aucune graisse sur le ruban à masquer ou le racloir. On mesure alors la distance le long des lignes de ruban à masquer et l'on calcule la superficie recouverte par la graisse.

*Calcul.* Une fois déterminée la superficie couverte, les équations ci-après sont utilisées pour calculer l'épaisseur moyenne de texture de la surface de chaussée.

$$\text{Épaisseur de texture (cm)} = \frac{\text{Volume de graisse (cm}^3\text{)}}{\text{Superficie couverte par la graisse (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{Épaisseur moyenne de texture} = \frac{\text{Somme des résultats}}{\text{Nombre total d'essais}}$$

**Tableau A2-1. Fréquence des inspections visuelles de piste**

Nombre d'arrivées d'avions à réaction par jour pour une extrémité de piste	Poids total annuel des avions par extrémité de piste (millions de kg)	Fréquence d'inspection minimale
Moins de 15	Moins de 447	Une fois par an
De 16 à 30	De 448 à 838	Tous les 6 mois
De 31 à 90	De 839 à 2 404	Tous les 3 mois
De 91 à 150	De 2 405 à 3 969	Une fois par mois
De 151 à 210	De 3 970 à 5 535	Toutes les 2 semaines
Plus de 210	Plus de 5 535	Une fois par semaine

*Note.*— Après avoir calculé les deux premières colonnes conformément aux procédures indiquées à l'Appendice 6, l'exploitant d'aéroport doit choisir la colonne qui contient la valeur la plus élevée, et ensuite la fréquence appropriée dans la dernière colonne.

**Tableau A2-2. Méthode d'estimation visuelle des dépôts de caoutchouc accumulés sur une piste**

Densité du dépôt	Surface de chaussée (%) recouverte dans la zone de toucher des roues	Description des dépôts de caoutchouc observés dans la zone de toucher des roues	Gamme de valeurs moyennes de $\mu$ estimées par sections de 150 m dans la zone de toucher des roues	Mesures proposées à l'administration aéroportuaire
Très léger	Moins de 5 %	Traces de pneu intermittentes; 95 % de surface de chaussée exposée.	0,65 ou plus	Aucune
Léger	De 6 à 20 %	Les traces de pneu commencent à se chevaucher; de 80 à 94 % de surface de chaussée exposée.	De 0,55 à 0,64	Aucune
Léger à moyen	De 21 à 40 %	Zone centrale recouverte sur 6 m de largeur; de 60 à 79 % de surface de chaussée exposée.	De 0,50 à 0,54	Surveiller de près la détérioration de la chaussée
Moyen	De 41 à 60 %	Zone centrale recouverte sur 12 m de largeur; de 40 à 59 % de surface de chaussée exposée.	De 0,40 à 0,49	Prévoir l'enlèvement du caoutchouc avant 120 jours
Moyen à dense	De 61 à 80 %	Zone centrale recouverte sur 15 ft de largeur; de 30 à 69 % de caoutchouc vulcanisé et scellé à la surface de la chaussée; de 20 à 39 % de surface de chaussée exposée.	De 0,30 à 0,39	Prévoir l'enlèvement du caoutchouc avant 90 jours
Dense	De 81 à 95 %	De 70 % à 95 % de caoutchouc vulcanisé et scellé à la surface de la chaussée; dépôt difficile à enlever; le caoutchouc paraît brillant ou satiné; de 5 à 19 % de surface de chaussée exposée.	De 0,20 à 0,29	Prévoir l'enlèvement du caoutchouc avant 60 jours
Très dense	De 96 à 100 %	Le caoutchouc est entièrement vulcanisé et scellé à la surface de la chaussée; dépôt très difficile à enlever; le caoutchouc présente des stries, ainsi qu'un aspect brillant ou satiné; de 0 à 4 % de surface de chaussée exposée.	Moins de 0,19	Prévoir l'enlèvement du caoutchouc avant 30 jours ou aussitôt que possible

*Note.— En ce qui concerne l'accumulation des dépôts de caoutchouc, d'autres facteurs doivent être pris en compte par l'exploitant d'aéroport, notamment: le type et l'âge de la chaussée, les conditions climatiques pendant l'année, la période de l'année, le nombre d'avions gros-porteurs qui utilisent les pistes, ainsi que la longueur des pistes. Les mesures correctives recommandées peuvent varier, par conséquent, en fonction des conditions observées à l'aéroport. Les gammes de valeurs de  $\mu$  indiquées dans le tableau ci-dessus sont établies d'après les données fournies par des dispositifs de mesure continue du frottement fonctionnant dans le mode roue freinée-taux de glissement fixe. Les gammes de valeurs de  $\mu$  sont approximatives et ne doivent être utilisées par l'exploitant d'aéroport que s'il ne dispose d'aucun de ces dispositifs. Dans le cas contraire, l'exploitant d'aéroport devrait procéder à des analyses du frottement sur les pistes afin d'établir l'importance réelle des dépôts de caoutchouc.*

**Tableau A2-3. Codage alphanumérique pour l'état des rainures**

Traitement du revêtement	Code alphabétique	Codage numérique avec description
Type de rainure	H	0 — néant 1 — rainures pratiquées à la scie 2 — rainures de plastique
État des rainures	G	0 — profondeur uniforme sur la chaussée 1 — 10 % de rainures inefficaces 2 — 20 % de rainures inefficaces 3 — 30 % de rainures inefficaces 4 — 40 % de rainures inefficaces  5 — 50 % de rainures inefficaces* 6 — 60 % de rainures inefficaces 7 — 70 % de rainures inefficaces 8 — 80 % de rainures inefficaces 9 — 90 % de rainures inefficaces

\* Lorsque ce niveau est dépassé, l'exploitant d'aéroport devrait prendre des mesures pour améliorer l'efficacité du rainurage.

**Tableau A2-4. Codage alphanumérique selon le type de revêtement**

Type de revêtement	Code alphabétique	Codage numérique avec description
Béton asphaltique	A	0 — joint en coulis 1 — revêtement neuf, agrégat recouvert d'asphalte, couleur noire 2 — microtexture, 75 % d'agrégat fin, couleur de l'agrégat 3 — texture mixte, agrégat moitié fin, moitié grossier, couleur de l'agrégat 4 — macrotexture, de 75 à 100 % d'agrégat grossier 5 — surface usée, l'agrégat grossier fait saillie, ou bien il est usé 6 — couche superficielle à granulométrie ouverte, couche de frottement poreuse 7 — joints écaillés 8 — joints imprégnés de caoutchouc 9 — autres
Béton de ciment Portland	C	0 — finition à la courroie 1 — microtexture, prédominance d'agrégat fin 2 — macrotexture, prédominance d'agrégat grossier 3 — surface usée, l'agrégat grossier fait saillie ou bien il est usé 4 — finition à la toile de jute 5 — balayage ou brossage 6 — râteau à brins métalliques 7 — râteau à brins plastiques 8 — striage mécanique 9 — autres

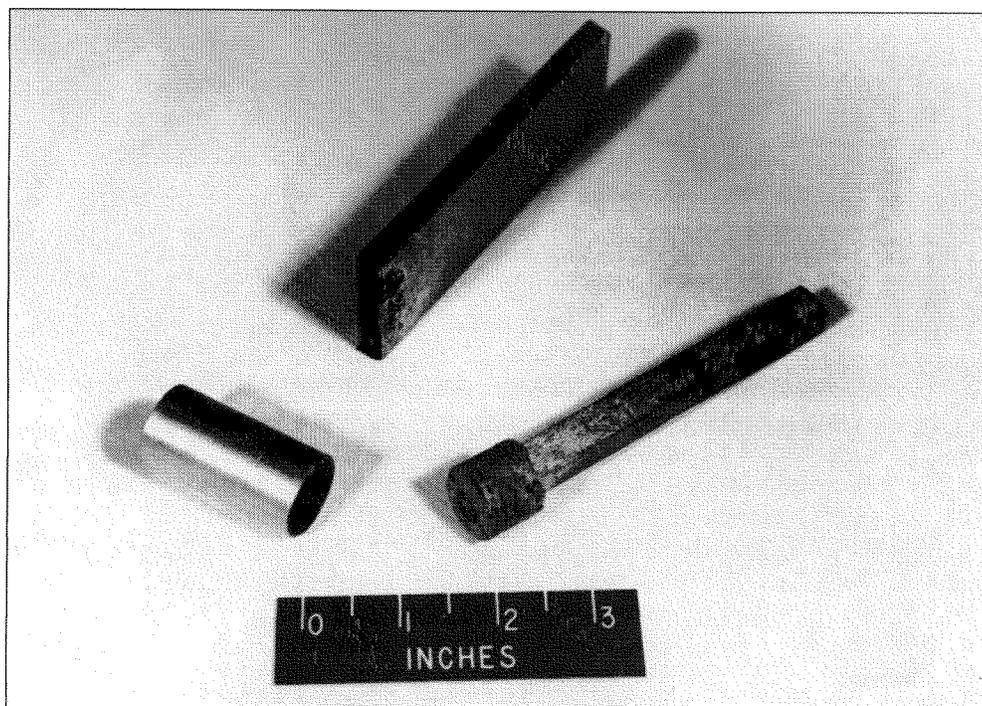


Figure A2-1. Tube de mesure du volume de graisse, poussoir et racloir en caoutchouc

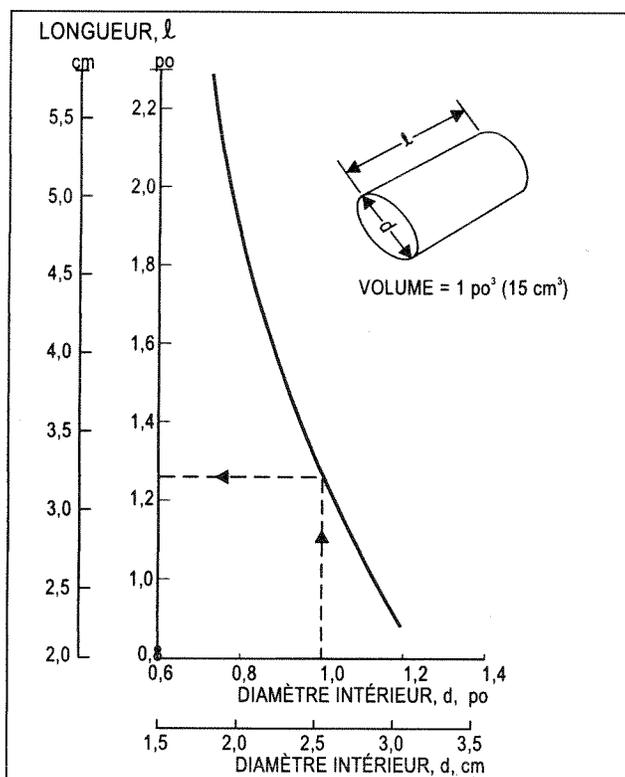


Figure A2-2. Dimensions du tube de mesure correspondant à un pouce cube ou quinze centimètres cubes

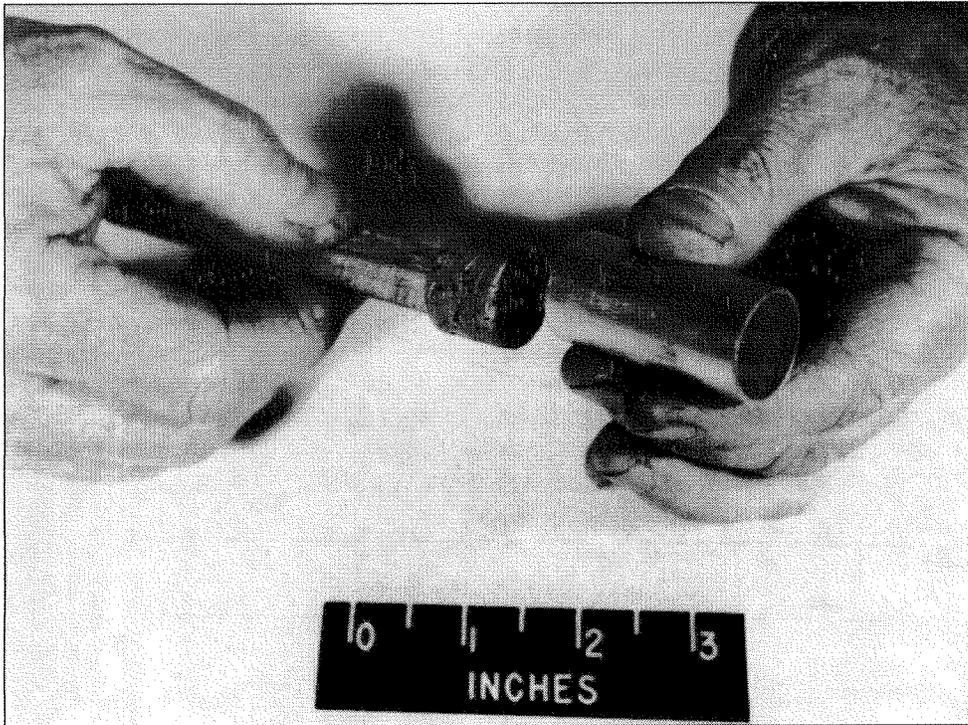


Figure A2-3. Tube de mesure rempli de graisse

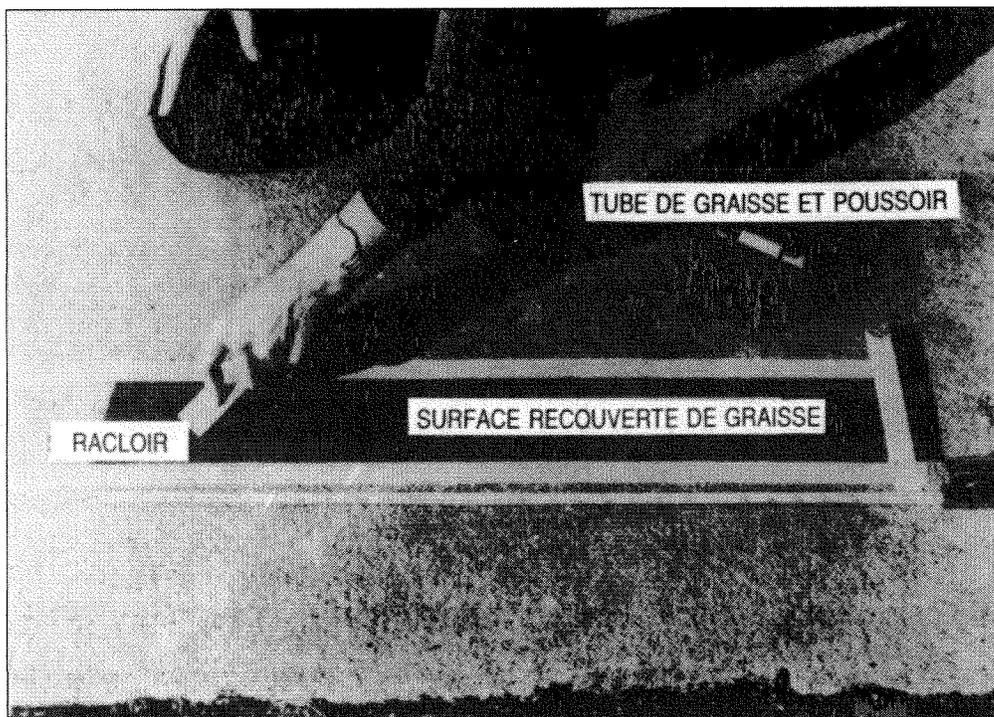


Figure A2-4. Moyen utilisé pour appliquer la graisse en vue de déterminer l'épaisseur de la texture superficielle de la piste

## Appendice 3

# Procédure d'essai de la NASA pour la certification des nouveaux dispositifs de mesure du frottement fonctionnant en mode continu utilisés aux aéroports

### INTRODUCTION

Depuis les années 1950, un grand nombre de dispositifs de mesure du frottement ont été mis au point qui permettent de surveiller les caractéristiques de frottement des pistes dans toutes les conditions de mouillage et de «contamination» (dépôts sur la piste). Ces dernières années, plusieurs modèles fonctionnant en mode continu (CFME) se sont révélés fiables, précis et uniformes dans de multiples programmes d'évaluation exhaustifs, qui comprenaient entre autres des essais sur diverses surfaces de chaussée et à différentes vitesses. Parmi les CFME les plus utilisés que la NASA, sur la base d'essais antérieurs, a certifiés comme étant acceptables du point de vue du coût, de la fiabilité et de la facilité d'emploi figurent le mumètre, le véhicule de mesure du frottement sur les pistes, le skiddomètre BV-11, le véhicule de mesure du frottement de surface (Saab), le Grip Tester, le véhicule de mesure de frottement Tatra et l'analyseur-enregistreur de piste RUNAR.

### PRINCIPAUX OBJECTIFS

1. Établir l'acceptabilité des procédures du constructeur pour l'étalonnage des instruments des systèmes de mesure du frottement et d'arrosage du dispositif.
2. Recueillir des mesures de frottement sur au moins quatre surfaces de chaussée différentes qui donneront une vaste gamme de niveaux de frottement.
3. Obtenir des mesures de frottement à au moins deux vitesses d'essai, par exemple 65 et 95 km/h.
4. Pour chaque combinaison vitesse d'essai/surface, procéder à un nombre suffisant d'essais avec le dispositif et, si possible, avec d'autres dispositifs déjà certifiés, pour déterminer la répétabilité et l'uniformité des mesures de frottement.

### PROCÉDURE D'ESSAI

#### *Généralités*

Les essais de certification se sont déroulés au Wallops Flight Facility de la NASA, en Virginie, sur la côte est des États-Unis, où des chaussées présentant divers types de surface ont été construites pour les essais, ce qui permet d'obtenir une grande gamme de niveaux de frottement sur surface mouillée pour l'évaluation. En outre, l'espace disponible est assez vaste pour des essais à haute vitesse. Un minimum de quatre surfaces différentes pour des mesures de frottement en présence d'eau est jugé suffisant pour des essais de certification de dispositifs fonctionnant en mode continu avec des gammes de valeurs de frottement à 65 km/h de 0 à 0,20, 0,25 à 0,45, 0,50 à 0,70 et 0,75 et plus. Dans tous les essais, il conviendrait de prendre note des conditions météorologiques ambiantes (par exemple température, vent et humidité) à intervalles raisonnables de même que de l'heure d'exécution des essais. Avant les essais, il faudrait inspecter la surface de la chaussée afin de s'assurer qu'elle soit sèche, propre et sans poussières ou autres matières. Quelle que soit la surface, les essais doivent tous être effectués dans la même direction. L'affectation de personnel chevronné à la conduite de l'ensemble des essais contribuera à tenir le nombre des essais au minimum et à assurer une bonne collecte de données.

#### *Étapes*

1. Vérifier que l'appareillage d'essai, le(s) pneu(s) et le système d'acquisition de données du dispositif sont dans la configuration appropriée et en bon état de fonctionnement.
2. Étalonner les instruments du dispositif conformément aux spécifications du constructeur et enregistrer (consigner) les valeurs.
3. Vérifier que le système d'arrosage du dispositif fournira invariablement la quantité d'eau requise devant le(s)

- pneu(s) à chaque vitesse d'essai programmée. La plupart des États prescrivent actuellement de régler le débit de manière à produire, sur la surface d'essai, une pellicule d'eau de 1 mm de profondeur moyenne.
4. Répéter les étapes 1 à 3 si on compte utiliser un dispositif déjà certifié en plus du nouveau dispositif pour établir une corrélation entre les données de frottement.
  5. Si au moins deux dispositifs sont utilisés, établir dès le début l'ordre dans lequel ils subiront les essais et maintenir cet ordre pendant toute la durée de l'évaluation.
  6. Répéter chaque essai deux ou trois fois avec chaque dispositif sur une surface donnée afin de stabiliser les mesures de frottement sur surface mouillée et d'obtenir une répétabilité acceptable de  $\pm 0,03$  lors des essais suivants. Si ce degré d'uniformité n'est pas obtenu après deux séries d'essais à même vitesse, vérifier les systèmes de mesure et d'acquisition de données à la recherche d'anomalies; au besoin, apporter les corrections nécessaires et procéder à un nouvel étalonnage avant de poursuivre les essais.
  7. À chaque vitesse d'essai choisie, procéder à au moins six essais avec chaque dispositif sur chacune des surfaces d'essai (au moins quatre).
  8. Sur chaque surface d'essai, exécuter les essais à au moins deux vitesses, à savoir 65 et 95 km/h. Il est souhaitable de procéder à des essais à d'autres vitesses afin de mieux définir la courbe de frottement/vitesse obtenue sur chaque surface.
  9. Au moment opportun, analyser l'évolution des données de frottement sur surface mouillée pour vérifier la précision, la répétabilité et l'uniformité des valeurs de frottement moyennes pour chaque surface et vitesse d'essai utilisées.
  10. En vue de la comparaison avec les données de certification pour le frottement sur surface mouillée, exécuter deux essais à sec sur chaque surface à des vitesses similaires à celles qui ont été utilisées pour les essais de certification.
  11. À la fin des essais, étalonner les instruments du dispositif conformément aux spécifications du constructeur et enregistrer (consigner) les valeurs. Elles doivent être très proches (à  $\pm 0,03$  près) de celles prises en note avant le début des essais. Dans le cas contraire, établir la cause des écarts et déterminer s'il faut recommencer certains ou l'ensemble des essais.
  12. Produire des courbes frottement/vitesse pour chaque surface d'essai en utilisant des échelles similaires pour les axes des graphiques. Si un second dispositif a été soumis aux essais de certification en parallèle avec le nouveau dispositif, utiliser des symboles différents pour distinguer, sur les graphiques, les données des courbes frottement/vitesse provenant des deux dispositifs.
  13. Calculer les équations de régression linéaire et les coefficients de corrélation ( $r$  au carré) pour chaque ensemble de données. Équations et coefficients devraient figurer sur chaque graphique.
  14. Établir un tableau des principaux paramètres des essais, à savoir: date, numéros des essais, surfaces, vitesses, direction des essais, profondeur de la pellicule d'eau et valeurs de frottement moyennes.
  15. Produire des exemplaires de tous les historiques des données d'essai, notes générales, observations sur les conditions météorologiques et autres concernant les essais, et les réunir dans un ensemble destiné à être communiqué à l'organisme qui a demandé les essais de certification.
  16. Copier les renseignements des étapes 2 et 11 à 15 sur une feuille de papier ou sur une disquette et les communiquer à l'organisme intéressé.
- Note.— Il est recommandé, mais non obligatoire, de faire des photos ou des vidéos des essais de certification. Si de tels documents sont produits, des exemplaires devraient être communiqués à l'organisme qui a demandé les essais de certification.*
-

## Appendice 4

# Évaluation de l'antidérapance sur des surfaces en dur — Méthode d'essai normalisée fondée sur une technique de mesure continue en mode de freinage à taux de glissement fixe

### 1. OBJET

1.1 La méthode d'essai normalisée exposée ci-après permet de mesurer l'antidérapance sur des surfaces en dur (propres ou contaminées) au moyen d'une technique de freinage à taux de glissement fixe. Principalement destinée à donner des mesures à la valeur d'antidérapance maximale ou à des valeurs voisines, cette technique peut aussi être utilisée avec d'autres taux de glissement. Les mesures sont obtenues en forçant un pneu d'essai soumis à une charge fixe suspendue dynamiquement à rouler à un taux de glissement fixe et à vitesse constante sur une surface en dur mouillée. Elles permettent d'obtenir un relevé du frottement de freinage sur toute la longueur de la surface d'essai et de calculer une moyenne pour n'importe quelle longueur spécifiée.

1.2 Les valeurs indiquées en unités SI doivent être considérées comme étant la norme. Les valeurs figurant entre parenthèses sont en livres-pouce, mais il ne s'agit pas d'équivalents exacts. Chaque système doit donc être utilisé indépendamment de l'autre, et les valeurs ne doivent être combinées d'aucune façon.

1.3 La méthode peut comporter l'emploi de matières, de procédures et d'équipement dangereux. Elle ne prétend pas résoudre tous les problèmes de sécurité que pose son application. Il incombe à quiconque envisage de l'utiliser de consulter et de prendre les mesures d'hygiène et de sécurité appropriées ainsi que de déterminer si des limitations réglementaires s'imposent avant de la mettre en œuvre. Des mesures de sécurité sont données à la section 6.

### 2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

#### 2.1 Normes ASTM

- E178 Recommended Practice for Dealing with Outlying Observations
- E274 Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire

- E670 Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter.
- E867 Standard Definitions of Terms of Travelled Surface Characteristics
- E1551 Standard Specification for Special Purpose, Smooth Tread, Standard Tire
- E1844 Standard Specification for Grip Tester, Smooth Tread, Friction Test Tire
- F377 Calibration of Braking Force for Testing Pneumatic Tires
- F457 Method for Speed and Distance Calibration of a Fifth Wheel Equipped with Either Analog or Digital Instrumentation

#### 2.2 Documents connexes

- FAA Advisory Circular 150/5320-12B Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces
- K.J. Law Slip Friction Tester Instruction and Servicing Manual
- SAAB Friction Tester Instruction and Servicing Manual
- BV-11 Skiddometer Instruction and Servicing Manual
- Grip Tester Trailer Instruction and Servicing Manual
- BS 598 Draft Standard on Measuring Surface Friction
- Findlay, Irvine Ltd. Production Test Schedule, PTS 292-8, for Testing and Documenting Grip Tester Test Tyres
- Tatra Friction Tester Instruction and Servicing Manual
- RUNAR Runway Analyzer and Recorder Instruction and Servicing Manual
- Annexe 14 à la Convention relative à l'aviation civile internationale — *Aérodromes*, Volume I — *Conception et exploitation technique des aérodromes*

### 3. RÉSUMÉ DE LA MÉTHODE

3.1 Le dispositif d'essai est constitué d'un véhicule automobile intégrant une roue d'essai ou tirant une remorque

dotée d'une telle roue. Le véhicule est équipé de transducteurs, d'instruments, d'un réservoir d'eau, d'un système de mouillage et de commandes de freinage de la roue d'essai. La roue porte un pneu d'essai pour revêtement standard (voir les renseignements sur le pneu en 5.4).

3.2 Après avoir amené le dispositif à la vitesse d'essai voulue, on envoie de l'eau devant la roue d'essai, puis on serre le frein de celle-ci de façon qu'elle tourne au taux de glissement prévu. Pour un taux de glissement donné, la vitesse relative est égale à la différence entre la vitesse périphérique du pneu par rapport à l'essieu de la roue et la vitesse horizontale de l'essieu par rapport au sol. Ce rapport, généralement exprimé en pourcentage, est défini comme le taux de glissement. Il est égal au rapport de la vitesse de rotation au taux de glissement à la vitesse de rotation en roue libre.

3.3 La force de freinage maximale approximative développée entre le pneu et la chaussée est déterminée à partir de la force ou du couple de freinage produit exprimé sous forme de «nombre de glissement de freinage (BSN)», qui est obtenu en divisant la force engendrée en faisant rouler le pneu à un taux de glissement fixe et à une vitesse donnée par la charge mesurée ou calculée exercée sur la roue et en multipliant le résultat par 100.

#### 4. IMPORTANCE ET UTILISATION

4.1 La connaissance du frottement de freinage en régime stationnaire constitue un moyen de plus pour caractériser les surfaces de chaussée. Les recherches indiquent que pour la plupart de ces surfaces, les valeurs maximales ou de crête du frottement de freinage et de virage (force latérale) engendré entre le pneu et la surface sont d'amplitude similaire. Ainsi, le frottement de freinage maximal est utile dans l'étude des performances des véhicules en freinage et en direction dans différentes conditions de chaussée.

4.2 Les valeurs obtenues au moyen du dispositif ne concordent pas nécessairement ou ne présentent pas forcément de corrélation directe avec les résultats donnés par d'autres méthodes de mesure du frottement sur des surfaces en dur.

#### 5. DISPOSITIF

5.1 *Véhicule.* Le véhicule intégrant ou tirant la roue d'essai sera capable de maintenir une vitesse comprise entre 65 et 100 km/h (40 et 60 mi/h) à  $\pm 1,5$  km/h (1,0 mi/h) près pendant les essais sur surface de chaussée sèche. Il sera capable d'atteindre la vitesse de 65 km/h (40 mi/h) sur une distance de 152 m (500 ft) et la vitesse de 100 km/h sur une distance de

300 m (1 000 ft), la roue d'essai étant en position rentrée ou en rotation libre (voir la circulaire consultative 150/5320-12B de la FAA).

5.2 *Système de freinage.* La vitesse de la roue d'essai sera commandée de manière à maintenir le taux de glissement fixe souhaité sur toute la longueur de la surface d'essai, à la vitesse d'essai prévue. L'essai BSN normalisé est effectué à un taux de glissement fixe de 14 %, avec une tolérance admissible de  $\pm 3$  %. Le taux de glissement est de 0 % en mode roue libre et de 100 % en mode roue bloquée.

*Note.— Pour un ensemble donné de paramètres pneu/chaussée, le taux de glissement de crête peut dépasser cette tolérance. Sur des surfaces à faible frottement, c'est-à-dire recouvertes de glace et/ou de neige, le frottement de crête peut se produire à une valeur supérieure à celle choisie sur le dispositif à taux de glissement fixe. En pareil cas, le frottement mesuré peut donner lieu à des conclusions erronées parce que le dispositif produira des valeurs faibles quand on s'écarte des valeurs de crête.*

5.3 *Charge sur la roue.* Le dispositif sera doté d'un moyen permettant d'exercer une charge statique sur la roue, comme il est spécifié dans les manuels énumérés en 2.2.

5.4 *Pneu.* Le pneu d'essai sera le pneu standard pour les essais sur chaussée qui est indiqué dans la spécification E1551 ou dans les spécifications du dispositif de mesure à taux de glissement fixe utilisé (voir les manuels énumérés en 2.2). La pression du pneu d'essai sera de  $207 \pm 3$  kPa ( $30 \pm 0,5$  lb/po<sup>2</sup>) mesurée à la température ambiante (à froid) [ $140 \pm 3$  kPa ( $20 \pm 0,5$  lb/po<sup>2</sup>) dans le cas du Grip Tester].

#### Instrumentation

5.5 *Prescriptions générales relatives au système de mesure.* L'instrumentation sera conforme aux prescriptions générales suivantes à des températures ambiantes comprises entre 4 °C et 40 °C (40 °F et 100 °F):

Précision globale du système statique:  $\pm 2$  % de l'ensemble de l'échelle

Période de stabilité de l'étalonnage: 1 an minimum.

Les parties exposées du système toléreront une humidité relative de 100 % (pluie ou mouillage) et les autres conditions défavorables (poussières, chocs, vibrations, etc.) qui pourraient être rencontrées au cours des essais sur chaussée.

5.6 *Transducteur de mesure de force.* Le transducteur de mesure de force du pneu sera conçu de manière à mesurer la force produite à l'interface pneu-chaussée avec le minimum d'effets inertiels. Il est recommandé que les transducteurs produisent un

signal de sortie directement proportionnel à la force, avec une hystérésis inférieure à 1 % de la charge appliquée, jusqu'à la charge maximale prévue. La sensibilité à toute charge transversale ou charge de couple prévue sera inférieure à 1 % de la charge appliquée. Le transducteur de force sera monté de façon à subir moins de 1 degré de rotation angulaire par rapport à son plan de mesure à la charge maximale prévue.

5.7 *Transducteur de mesure de couple.* Les transducteurs de couple produiront un signal de sortie directement proportionnel au couple, avec une hystérésis inférieure à 1 % de la charge appliquée; la non-linéarité, jusqu'au maximum prévu, avec charge, sera inférieure à 1 % de la charge appliquée. La sensibilité à toute charge transversale sera inférieure à 1 % de la charge appliquée. Étant donné que les transducteurs de couple ne donnent pas de mesure de la charge verticale dynamique, celle-ci doit être supposée égale à la valeur statique. Les mesures des transducteurs de couple tiennent compte des effets inertiels pneu/roue en rotation, qui devraient être compensés à toutes les vitesses d'essai.

5.8 *Transducteurs supplémentaires.* Les transducteurs de force destinés à mesurer des grandeurs telles que la charge verticale répondront aux critères de 5.6.

5.9 *Transducteurs de mesure de la vitesse du véhicule.* Les transducteurs du type «cinquième roue» ou les roues libres reliées à des tachymètres offriront une résolution et une précision égale à 1,5 % de la vitesse indiquée, ou à  $\pm 0,8$  km/h (0,5 mi/h), si cette valeur est plus grande. La sortie peut être affichée à l'intention de l'opérateur, mais elle doit aussi être enregistrée simultanément dans un fichier de données. Les systèmes «cinquième roue» seront conformes à la méthode d'essai F457 de l'ASTM.

#### ***Système de traitement et d'enregistrement du signal***

5.10 Les transducteurs qui mesurent des paramètres sensibles aux charges inertielles seront conçus ou situés de manière à tenir au minimum l'effet de ces charges. Si cette condition ne peut pas être remplie, il faudrait corriger les données pour tenir compte de la charge verticale si l'effet dépasse 2 % des données réelles prévues pendant l'opération. Tout l'équipement de traitement et d'enregistrement du signal fournira une sortie linéaire et permettra une résolution de lecture de données qui répond aux prescriptions de 5.5. Tous les systèmes, sauf le filtre de lissage décrit en 5.11, produiront une largeur de bande minimale d'au moins 0 à 20 Hz (uniforme à moins de  $\pm 1$  %).

5.11 Un filtre électronique, typiquement entre un type Bessel 4,8 Hz/−3 dB/4 pôles et un filtre Butterworth 10 Hz/−3 dB/8 pôles, sera installé dans le circuit de traitement du

signal avant le diviseur électronique et le calcul d'intégration du BSN. Si le système d'enregistrement est un ordinateur programmable, un logiciel peut assurer tout ou partie du filtrage.

5.12 De préférence, l'étalonnage des instruments portera sur tous les éléments du système de mesure, y compris les transducteurs à jauge de contrainte (voir le projet de norme BS 598, sur la mesure du frottement de surface). Si cela est impossible, tous les transducteurs à jauge de contrainte seront équipés de résistances d'étalonnage shunt ou d'éléments équivalents qui peuvent être connectés avant ou après les séquences d'essai. Le signal d'étalonnage correspondra à au moins 50 % de la charge verticale normale et sera enregistré.

5.13 La force ou le couple de frottement du pneu et toute autre entrée souhaitée, comme la charge verticale et la vitesse de la roue, seront enregistrés en phase ( $\pm 5$  degrés sur une largeur de bande de 0 à 20 Hz). Tous les signaux seront rapportés à une base de temps commune.

5.14 Le rapport signal/bruit sera d'au moins 20 à 1 sur tous les canaux d'enregistrement, et le bruit doit être réduit à 2 % ou moins du signal.

#### ***Système de mouillage de la chaussée***

5.15 L'eau débitée sur la chaussée devant le pneu d'essai doit créer une pellicule d'une profondeur calculée de 1 mm (0,04 po). À cette fin, le système peut utiliser une buse simple ou une buse située à l'intérieur d'une brosse. Dans les deux cas, l'application doit être telle que la largeur de la pellicule d'eau produite sous le pneu est au moins égale à celle de l'aire de contact pneu-chaussée. Le volume d'eau par millimètre (pouce) de largeur mouillée sera directement proportionnel à la vitesse d'essai. À une vitesse d'essai de 65 km/h (40 mi/h), le débit recommandé d'eau à fournir est de 1,2 L/min par millimètre de largeur mouillée  $\pm 10$  %/mm (8 gal US/min  $\pm 10$  %/po).

5.16 Le système de mouillage comprendra un réservoir d'une capacité suffisante pour un essai sur une piste de 4 200 m (14 000 ft) avec une pellicule d'eau de 1 mm (0,04 po) d'épaisseur.

5.17 L'eau utilisée pour les essais sera raisonnablement propre et ne contiendra pas de produit chimique (par exemple agent mouillant ou détergent).

## **6. MESURES DE SÉCURITÉ**

Le véhicule d'essai et l'équipement qui y est fixé seront conformes aux lois locales et fédérales applicables. Toutes les

précautions nécessaires seront prises, en plus de celles imposées par les lois et les règlements, pour assurer au maximum la sécurité du personnel d'essai et des autres. Il ne sera pas procédé à un essai s'il y a danger que l'eau gèle sur la chaussée.

## 7. ÉTALONNAGE

7.1 *Vitesse.* Étalonner l'indicateur de vitesse du véhicule d'essai à la vitesse d'essai en déterminant le temps qu'il faut pour franchir, à vitesse constante, une section de chaussée raisonnablement droite et de niveau, mesurée avec précision, d'une longueur suffisante pour la méthode de calcul utilisée. Pour cet étalonnage, charger le véhicule à son poids d'utilisation normal et effectuer au moins trois parcours à chaque vitesse d'essai. On peut utiliser d'autres méthodes offrant une précision équivalente. L'étalonnage d'une «cinquième roue» doit être effectué conformément à la méthode d'essai F457 de l'ASTM.

7.2 *Force de freinage (taux de glissement fixe).* Placer la roue d'essai de l'unité assemblée, avec son instrumentation, sur une plate-forme d'étalonnage appropriée, qui aura été étalonnée conformément à la méthode d'essai F377 de l'ASTM, et la soumettre à la charge verticale d'essai. Mesurer la charge d'essai à  $\pm 0,5$  % près chaque fois que le transducteur est étalonné. Mettre les transducteurs de niveau dans les dimensions longitudinale et latérale, afin que l'axe sensible à la force de traction soit horizontal. Cela peut être accompli en réduisant la sortie de force de traction pour de grandes variations de la charge verticale. Le système (véhicule ou remorque) devrait être à peu près de niveau pendant cette procédure. La plate-forme d'étalonnage utilisera des paliers à frottement minimal, et elle aura une précision correspondant à  $\pm 0,5$  % de la charge appliquée et une hystérésis maximale de  $\pm 0,25$  % de la charge appliquée jusqu'à la charge maximale prévue. S'assurer que la charge appliquée et l'axe sensible du transducteur soient dans la même ligne verticale. Effectuer l'étalonnage de la force de traction par étapes jusqu'à ce que le pneu d'essai commence à glisser sur la plate-forme, mais au moins jusqu'à 50 % de la charge verticale statique. Pour les autres dispositifs de mesure à taux de glissement fixe, voir les manuels des constructeurs énumérés en 2.2.

## 8. GÉNÉRALITÉS

8.1 *Préparation du pneu.* Préparer un pneu d'essai neuf en le faisant tourner à un taux de glissement fixe, à la pression de gonflage normale et sur une chaussée sèche, jusqu'à ce que la surface de la bande de roulement soit lisse et égale. Équilibrer dynamiquement l'ensemble roue et pneu pour éviter toute vibration à la vitesse d'essai prévue. Examiner le pneu à la recherche de dommages ou d'autres irrégularités qui pourraient

influer sur les résultats des essais. Rejeter le pneu s'il est endommagé ou usé au point qu'il est peu probable de réussir l'un quelconque des essais. Si l'usure de la bande de roulement est telle que le fond des trous indicateurs d'usure est exposé, le pneu devrait être remplacé. Pour les procédures de préparation du pneu de dispositifs de mesure à taux de glissement fixe particuliers, voir les manuels des constructeurs énumérés en 2.2.

8.2 *Préparation de l'essai.* Avant de procéder à un essai, vérifier le pneu à la recherche de plats, d'irrégularités ou d'autres dommages. Régler la pression de gonflage du pneu d'essai à la valeur requise (voir 5.4), à la température ambiante, juste avant le réchauffement. Avant chaque série d'essais, réchauffer le pneu d'essai en faisant rouler le véhicule sur au moins 600 m (2 000 ft), la roue étant freinée à un taux de glissement fixe et en mode automouillage.

8.3 *Vitesses d'essai.* Exécuter l'essai BSN normalisé à  $65 \pm 0,8$  km/h ( $40 \pm 0,5$  mi/h) et maintenir une précision similaire pour les essais à vitesse inférieure. Pour les essais à vitesse supérieure, la précision de tenue de la vitesse doit être de  $\pm 1,5$  km/h ( $\pm 1$  mi/h). Noter la vitesse et le taux de glissement (pourcentage) avec le BSN. Cela peut être fait en indiquant la vitesse à laquelle l'essai a été exécuté en indice au BSN, et le taux de glissement, en exposant.

8.4 *Détermination du gradient de vitesse du BSN.* Le changement du BSN avec la vitesse doit être exprimé sous la forme «BSN par km/h» («BSN par mi/h») et devrait être obtenu comme la pente du BSN par rapport à la courbe de vitesse, qui est tracée à partir d'au moins trois vitesses par échelons d'environ 32 km/h (20 mi/h). Le gradient standard sera défini comme la pente de la courbe de vitesse du BSN à 65 km/h (40 mi/h), et cela sera indiqué.

## 9. PROCÉDURE

9.1 Amener le dispositif à la vitesse d'essai prévue. Envoyer de l'eau devant le pneu d'essai. S'assurer que la roue d'essai est en mode freinage à taux de glissement fixe pendant au moins 1 seconde avant de le début de l'essai et qu'elle le reste pendant toute la durée de l'essai. Indiquer le début et la fin de l'essai au moyen de marqueurs d'événement. Si la roue d'essai peut être débrayée, elle devrait l'être, et l'eau, coupée, environ 1 seconde après la fin de l'essai.

9.2 Enregistrer les signaux électriques d'étalonnage avant et après chaque série d'essais, ou selon les besoins, pour assurer la validité des données.

9.3 Évaluer la trace enregistrée du BSN conformément aux critères de la FAA ou de l'OACI.

## 10. ESSAIS DÉFECTUEUX

Les essais défectueux ou qui donnent des BSN s'écartant de plus de 5 BSN par rapport à la moyenne établie pour l'ensemble des essais d'une même section seront traités conformément à la pratique recommandée E178 de l'ASTM.

## 11. RAPPORT

11.1 *Rapport de mission.* Le rapport de mission de chaque section d'essai contiendra les renseignements suivants:

- emplacement et identification de la section d'essai;
- date et heure du jour;
- conditions météorologiques;
- section évaluée;
- vitesse du véhicule d'essai et profondeur de la pellicule d'eau (chaque essai);
- taux de glissement, en pourcentage;
- BSN.

11.2 *Rapport sommaire.* Le rapport sommaire contiendra, pour chaque section d'essai, les renseignements suivants, dans la mesure où ils sont pertinents pour les variables ou combinaisons de variables à l'étude:

- emplacement et identification de la section d'essai;
- pente et alignement;
- type et état de la chaussée;
- âge de la chaussée;

- utilisation quotidienne moyenne (trafic);
- date et heure du jour;
- conditions météorologiques;
- chemin de roulement évalué;
- température ambiante et température de la surface;
- BSN moyen, haut et bas pour la section d'essai, et vitesse et taux de glissement (pourcentage) auxquels les essais ont été effectués (si des valeurs non utilisées dans le calcul de la moyenne sont indiquées, il faut le signaler);
- date du dernier étalonnage.

## 12. PRÉCISION ET ÉCART SYSTÉMATIQUE

12.1 *Précision.* On ne dispose pas encore de données pour faire une déclaration sur la précision de la méthode d'essai exposée ci-dessus.

12.2 *Écart systématique.* Il n'existe pas de norme ou de référence avec laquelle on pourrait comparer les résultats des essais effectués selon la méthode ci-dessus. Le but de ces essais est de permettre des comparaisons entre des surfaces de chaussée évaluées avec le même pneu. On pense que les résultats de cette méthode se prêtent à de telles comparaisons, sans référence extérieure pour juger de la précision. Il faut noter que le frottement de surface dépend de nombreuses variables comme les conditions ambiantes, l'usage, l'âge, la présence de dépôts sur la surface, le type de précipitation naturelle et le type de mouillage artificiel. Les valeurs mesurées sont valides tant qu'aucune de ces variables ne change sensiblement.



## Appendice 5

### Exemple de programme d'évaluation du frottement sur les pistes

#### TABLEAU A5-1 (TABLE A)

1. Déterminer le nombre annuel d'atterrissages de chaque type d'avion à réaction utilisant l'aéroport. Inscire ce nombre dans la colonne [B].
2. Déterminer la masse à l'atterrissage totale annuelle des avions à réaction utilisant l'aéroport, pour chaque type. Inscire ce chiffre dans la colonne [C].
3. Déterminer le nombre total annuel d'atterrissages pour l'ensemble des types d'avion [D].
4. Déterminer la masse à l'atterrissage totale annuelle des avions à réaction utilisant l'aéroport, pour l'ensemble des types [E].

#### TABLEAU A5-2 (TABLE B)

5. Passer à la Table B et suivre les instructions données. Déterminer les valeurs [H] et [K] pour chaque extrémité de piste utilisée par des avions à réaction.

#### TABLEAU A5-3 (TABLE C)

6. Noter les valeurs [H] et [K] déterminées d'après la Table B et les comparer aux valeurs [H] et [K] données dans la

Table C. On détermine ainsi les fréquences minimales des mesures de frottement [M] et d'enlèvement du caoutchouc [N] pour chaque extrémité de piste utilisée par des avions à réaction.

#### TABLEAU A5-4 (TABLE D)

7. Reporter les valeurs de [G], [H], [K], [M] et [N] dans la Table D.
8. Il incombe à chaque aéroport d'effectuer les calculs ci-dessus une fois par an. D'une année à l'autre, les compagnies aériennes changent d'aéroport, de type d'avion et de fréquence quotidienne de mouvements sur un aéroport. Effectués une fois par an, les calculs permettront à l'administration aéroportuaire de se tenir au courant des activités aériennes sur l'aéroport. Cela est particulièrement vrai si l'on considère l'augmentation du nombre de mouvements d'avions gros-porteurs avec les années, ce qui se traduira par une accumulation de caoutchouc et une usure des chaussées beaucoup plus rapides.
9. Les Tableaux A5-1 à A5-4, élaborés à l'intention de l'exploitant d'aéroport, faciliteront les calculs.

**Tableau A5-1. Estimation de la masse à l'atterrissage totale annuelle des avions de transport commercial à réaction utilisant l'aéroport — Table A**

<i>Aéroport:</i>			
<i>Indicateur:</i>			
<i>Emplacement n°:</i>			
Type d'avion	Masse maximale à l'atterrissage de l'avion (kg) [A]	Nombre annuel d'atterrissages [B]	Masse à l'atterrissage totale annuelle (m kg) [A] × [B] = [C]
+ A300-B2	127 462		
+ A300-B4	132 996		
+ A300-600	138 000		
+ A310-200	122 000		
+ A310-300	123 000		
+ A320-100	63 000		
+ A320-200	64 500		
B707-120B	86 184		
B707-[320/420]	93 895		
B707-[720/720B]	79 380		
B707-320B	97 524		
B707-320C	112 039		
B727-[100/100C]	64 638		
B727-200	73 030		
B737-100	44 906		
B737-200	46 721		
B737-[200C/200QC]	48 535		
B737-300	52 527		
B737-400	56 246		
B737-500	49 896		
+ B747-[100/B/SF/SF]	255 830		
+ B747-[200/B/C/F/P]	285 768		
+ B747-[300/400]	285 768		
+ B747-[200B/300]	290 304		

Type d'avion	Masse maximale à l'atterrissage de l'avion (kg) [A]	Nombre annuel d'atterrissages [B]	Masse à l'atterrissage totale annuelle (m kg) [A] × [B] = [C]
+ B747-300SR	242 676		
+ B747-SP	210 924		
B757-200PF	95 256		
B767-200	123 379		
B767-200ER	129 276		
B767-300	136 080		
B767-300ER	145 152		
BAC111-[200/400]	31 298		
BAC111-500	39 010		
BAC CONCORDE	111 132		
BAe146-100	32 568		
BAe146-200	34 927		
BAe146-300	40 824		
DC8-[20/30/40]	93 895		
DC8-55	98 431		
DC8-[55F/61/62/71/72]	108 864		
DC8-72AF	113 400		
DC8-[63F/73CF/73AF]	124 740		
DC8-[61F/71CF/63/73]	117 029		
DC9-[10/15/15F]	37 059		
DC9-21	43 228		
DC9-[32/33F]	44 906		
DC9-41	46 267		
DC9-51	49 896		
DC9-81	58 061		
DC9-82	58 968		
DC9-83	63 277		
DC9-83	58 968		
DC9-[87/88]	58 968		
+ DC10-[10/10CF/15]	164 884		

Type d'avion	Masse maximale à l'atterrissage de l'avion (kg) [A]	Nombre annuel d'atterrissages [B]	Masse à l'atterrissage totale annuelle (m kg) [A] × [B] = [C]
+ DC10-40	182 801		
+ DC10-[30CF/KC-10A]	197 770		
+ DC10-[30/40CF]	186 430		
F28-[1000/2000]	26 762		
F28-[3000/5000]	29 030		
F28-[4000/6000]	30 164		
+ L1011-1	162 389		
+ L1011-[100/200/500EW]	166 925		
CONVAIR 880	70 308		
CONVAIR 990	91 627		
SE210	47 583		
+ MD11	195 048		
+ MD11 COMBI	207 749		
+ MD11F	213 872		
IL62	114 308		
VC10-1100	97 978		
VC10-1150	107 503		

+ = Avion gros-porteur

Nombre total annuel d'atterrissages — Avions à fuselage étroit \_\_\_\_\_ %  
 Nombre total annuel d'atterrissages — Avions gros-porteurs \_\_\_\_\_ %

Nombre total annuel d'atterrissages — Tous avions \_\_\_\_\_

[D] = [B]

Masse à l'atterrissage totale annuelle — Avions à fuselage étroit \_\_\_\_\_ %  
 Masse à l'atterrissage totale annuelle — Avions gros-porteurs \_\_\_\_\_ %

Masse à l'atterrissage totale annuelle — Tous avions \_\_\_\_\_

[E] = [C]

**Tableau A5-2. Formulaire pour procédure de calcul — Table B**

**Total quotidien d'atterrissages, toutes pistes:**

Total annuel d'atterrissages, toutes pistes	÷	365 jours par an	=	Total quotidien d'atterrissages, toutes pistes
_____				_____
[D]				[F]

**Masse moyenne annuelle des avions en fonction du total annuel d'atterrissages, toutes pistes:**

Masse à l'atterrissage totale annuelle des avions	÷	Total annuel d'atterrissages	=	Masse moyenne annuelle des avions en fonction du total annuel d'atterrissages, toutes pistes
_____		_____		_____
[E]		[D]		[J]

**PISTE \_\_\_\_\_**

**Total quotidien d'atterrissages:**

Total quotidien d'atterrissages, toutes pistes	×	Pourcentage d'atterrissages sur la piste ( )	=	Total quotidien d'atterrissages pour la piste ( )
_____		_____		_____
[F]		[G]		[H]

**Total annuel d'atterrissages pour la piste \_\_\_\_\_:**

Pourcentage d'atterrissages sur la piste ( )	×	Total annuel d'atterrissages, toutes pistes	=	Total annuel d'atterrissages, pour la piste ( )
_____		_____		_____
[G]		[D]		[I]

**Masse à l'atterrissage annuelle des avions pour la piste \_\_\_\_\_:**

Total annuel d'atterrissages sur la piste ( )	×	Masse moyenne annuelle des avions en fonction du total annuel d'atterrissages, toutes pistes	=	Masse à l'atterrissage annuelle des avions, pour la piste ( )
_____		_____		_____
[E]		[J]		[K]



## Appendice 6

### Méthodes permettant de mesurer ou d'évaluer l'efficacité de freinage lorsque l'aéroport n'est doté d'aucun dispositif de mesure du coefficient de frottement

#### MESURE DE L'EFFICACITÉ DE FREINAGE PAR FREINAGE D'UN CAMION OU D'UNE AUTOMOBILE, JUSQU'À L'ARRÊT COMPLET

1. Un moyen de mesurer le coefficient de frottement d'une piste, lorsque l'aéroport n'est doté d'aucun dispositif de mesure approprié, consiste à mesurer la distance parcourue, freins bloqués, par un camion ou une automobile, ainsi que le temps écoulé, à partir d'une vitesse donnée jusqu'à l'arrêt complet.

2. La distance parcourue et le temps écoulé jusqu'à l'arrêt donneront deux valeurs distinctes du coefficient de frottement, soit  $\mu$ -distance et  $\mu$ -temps, selon la formule suivante :

$$\mu \text{ distance} = \frac{V^2}{2gS}$$

$$\mu \text{ temps} = \frac{V}{tg}$$

où  $V$  = vitesse au moment de l'application des freins, en m/s

$S$  = distance d'immobilisation, en m

$t$  = temps d'immobilisation, en s

$g$  = accélération de la pesanteur, en  $m/s^2$ .

3. En général, le coefficient de frottement fondé sur le temps est un peu trop faible car l'observateur a tendance à déclencher le chronomètre un peu avant que les freins ne commencent à agir. Par contre, le coefficient de frottement fondé sur la distance parcourue jusqu'à l'arrêt est habituellement un peu trop fort parce que le camion s'est un peu ralenti avant que les roues ne commencent à glisser.

4. La valeur  $\mu$  obtenue est le coefficient de glissement, mais il faut rendre compte de  $\mu$  max. Afin d'obtenir une valeur approchée de  $\mu$  max, les résultats obtenus avec cette méthode

doivent être multipliés par 1,3 pour des valeurs  $\mu$  supérieures à 0,3 et par 1,2 pour des valeurs inférieures. En particulier, lorsque le coefficient de frottement est faible, les valeurs relatives de  $\mu$  glissement et  $\mu$  max varient avec les conditions particulières de l'essai mais on considère que les facteurs cités plus haut donnent des résultats acceptables. La vitesse au moment de l'application des freins et les essais de freinage effectués selon cette méthode peuvent être les mêmes que dans le cas de la méthode décrite en 4.4.2 qui consiste à mesurer l'efficacité de freinage au moyen d'un décéléromètre monté sur camion ou voiture. La Figure A6-1 donne un exemple d'imprimé à utiliser pour l'enregistrement et le dépouillement des résultats d'essai.

#### OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES RELATIVES AUX PISTES RECOUVERTES DE NEIGE OU DE GLACE

5. Dans de nombreux cas, il est possible d'évaluer approximativement l'efficacité du freinage d'après les conditions météorologiques observées, en les rapprochant d'observations de l'état de la piste. Les éléments indiqués ci-après sont fondés sur l'expérience acquise en Norvège et en Suède.

6. Sur des pistes recouvertes de neige ou de glace et non traitées (qui n'ont pas été sablées par exemple), le coefficient de frottement varie de 0,05 à 0,30. Il est très difficile d'indiquer exactement comment et pourquoi ce coefficient varie. Toutefois, si l'efficacité du freinage est assez satisfaisante, elle restera satisfaisante si la température décroît mais si la température augmente jusqu'au point de congélation ou au-dessus, l'efficacité du freinage diminuera rapidement. L'efficacité du freinage dépend beaucoup de la température, en particulier aux environs du point de congélation. Le coefficient de frottement peut atteindre parfois des valeurs très faibles lorsqu'une piste glacée est balayée par un vent humide, même si la température est très inférieure au point de congélation.

7. Voici quelques-unes des conditions qui peuvent influencer sur l'efficacité du freinage:



- a) Coefficient de frottement compris entre 0,10 et 0,25:
- 1) neige fondante ou pluie sur des pistes recouvertes de neige ou de glace;
  - 2) température passant au-dessus du point de congélation;
  - 3) température s'abaissant au-dessous du point de congélation (dans certains cas);
  - 4) type de glace se formant après de longues périodes de froid;
  - 5) mince couche de glace se formant:
    - i) sur un sol gelé qui a été exposé à l'humidité ou à la pluie, avec des températures égales ou supérieures à 0 °C,
    - ii) par rayonnement (par exemple lorsque le ciel se dégage), la température à la surface de la piste tombant au-dessous du point de congélation et au-dessous du point de rosée (ce type de glace peut

se former très brusquement, à un moment où la température observée peut être encore à quelques degrés au-dessus du point de congélation).

- b) Coefficient de frottement compris entre 0,25 et 0,35:
- 1) pistes recouvertes de neige avec des températures juste au-dessous du point de congélation;
  - 2) pistes recouvertes de neige et exposées au soleil avec des températures inférieures au point de congélation.
- c) Coefficient de frottement compris entre 0,35 et 0,45:

pistes recouvertes de neige et qui n'ont pas été soumises à des températures dépassant -2 °C à -4 °C.

*Note.— Cette classification ne vise qu'à fournir des indications générales et elle est uniquement destinée à donner une idée du freinage auquel on peut s'attendre dans diverses conditions. Toutes les fois que cela est possible, il y a lieu d'évaluer l'efficacité du freinage en procédant à des mesures.*



## Appendice 7

### Types de chasse-neige et accessoires

1. Les dépenses en carburant et en matériel spécialisé pour l'enlèvement de la neige et la lutte contre la glace aux aéroports sont souvent considérables et toute méthode pouvant entraîner une économie devrait être étudiée. Le présent appendice passe en revue certains progrès qui ont été réalisés dans la conception des chasse-neige d'aéroport, et qui peuvent permettre de réaliser des économies en matière de carburant et de matériel.

2. Les versoirs ou revêtements en polymères ou en matériaux composites semblent réduire le frottement entre la surface du versoir et la neige ou la neige fondante. La réduction du frottement superficiel peut diminuer la puissance nécessaire à la propulsion du chasse-neige, et par conséquent la consommation en carburant. D'après certains constructeurs les économies ainsi réalisées seraient appréciables. L'emploi de versoirs de chasse-neige qui projettent la plus grande partie de la neige à une certaine distance du véhicule au lieu de la repousser simplement sur le côté permettrait de réduire le nombre d'engins utilisés. À certains endroits où les chutes de neige et les vents sont généralement faibles, et à condition que le type de neige et les caractéristiques de la piste, du balisage et des accotements soient favorables, l'emploi d'un chasse-neige de ce genre peut éviter d'avoir à utiliser une souffleuse pour projeter au-delà des feux de bord de piste une grande partie de la neige déblayée. La suppression d'une souffleuse représente une économie appréciable en matière de carburant et de matériel; cependant la décision d'acquiescer un chasse-neige à grande vitesse à cette fin devrait être soigneusement pesée en tenant compte du fait que les performances requises dépendent dans une large mesure des conditions d'enneigement locales. On trouvera ci-après une classification des chasse-neige en fonction des dimensions de la lame:

- a) *Petits chasse-neige*. Ces chasse-neige, qui peuvent se présenter sous différentes formes, sont équipés d'un versoir d'une longueur comprise entre 1,8 m environ et la taille intermédiaire. Sont inclus dans ce groupe les camions à lame biaise montée sous le châssis dont la longueur de la lame est comprise entre 3 m et la taille intermédiaire.
- b) *Chasse-neige intermédiaires*. Comme les précédents, ces chasse-neige peuvent se présenter sous différentes formes, mais la longueur du versoir est comprise entre 3 m et 4,5 m

environ. Sont compris dans ce groupe les camions à lame biaise montée sous le châssis dont la longueur de la lame est comprise entre 3 m et 4,5 m.

- c) *Grands chasse-neige*. Ces chasse-neige, dont il existe également plusieurs modèles, sont équipés d'un versoir d'une longueur de 4,5 m ou plus. Sont compris dans ce groupe les chasse-neige du type bulldozer pour aires de trafic et d'autres grands chasse-neige pour usages spéciaux.
- d) Les véhicules sur lesquels sont montés les divers types de chasse-neige peuvent être classés comme suit:
  - 1) *Camions standard*. Il s'agit de camions de série qui répondent aux spécifications concernant les véhicules chasse-neige pour aéroports.
  - 2) *Gros véhicules spécialisés*. Ces véhicules sont fabriqués selon les spécifications du client. Ils sont généralement utilisés sur les aéroports où il faut déplacer de grandes quantités de neige et ils se caractérisent par une grande largeur de travail.
  - 3) *Chargeurs frontaux*. Chargeurs de type standard utilisés pour des opérations spécialisées de déneigement à faible vitesse, par exemple l'enlèvement de la neige sur les aires de trafic, son chargement et sa mise en tas, ainsi que le dégagement des feux de piste et des zones où la liberté de manœuvre est réduite.
  - 4) *Tracteurs industriels (gros tracteurs à quatre roues motrices exclusivement)*. Tracteurs de types standard à transmission hydrostatique. Ils sont utilisés pour des opérations spécialisées de déneigement semblables à celles qui sont effectuées par les chargeurs frontaux mais ils peuvent travailler à une vitesse plus élevée et ils ne sont pas équipés pour le chargement de la neige.

3. *Types de chasse-neige*. Les différents types classiques de chasse-neige que l'on rencontre sur les aéroports sont décrits ci-après. Les chasse-neige peuvent se présenter sous différentes formes mais ils doivent être conformes aux indications du présent manuel relatives au matériel; ils doivent pouvoir enlever la neige ou la neige fondante sur la largeur spécifiée à la vitesse

recommandée par le fabricant; la quantité de neige restante ou projetée par-dessus la lame sur la zone déjà nettoyée doit être minimale. Les performances du chasse-neige devraient correspondre à l'usage auquel il est destiné; ainsi, un grand chasse-neige à lame orientable utilisé conjointement avec une grande souffleuse devrait fonctionner de façon satisfaisante quelles que soient la vitesse de la souffleuse, la masse volumique de la neige et son épaisseur.

a) *Chasse-neige à lame biaisée conique orientée à gauche ou à droite.* Conçu pour l'enlèvement à grande vitesse de quantités importantes de neige, ce chasse-neige du type classique à lame biaisée non réversible est utilisé principalement sur les pistes et les surfaces analogues; il est équipé d'un versoir conique et actionné par un système hydraulique à commandes classiques situées dans la cabine de conduite. Selon la taille du chasse-neige, la hauteur de la lame est d'environ 0,60 m à 0,76 m à l'avant et de 1,27 m à 2,03 m à l'arrière. La lame devrait être équipée de tranchants amovibles métalliques ou non métalliques, selon les spécifications. L'engin devrait être doté d'une commande manuelle ou assistée d'inclinaison de la lame et d'un dispositif de sécurité (basculement automatique de la lame) pour les opérations générales de déneigement des pistes, aires de trafic, etc. Les tranchants au carbure de tungstène ne devraient pas être utilisés sur les surfaces comportant des feux encastrés. Dans ce cas, il est recommandé d'installer des tranchants en caoutchouc ou en polyuréthane. Ce type de chasse-neige n'a pas la polyvalence des modèles à lames orientables et il n'est pas recommandé pour un usage général aux aéroports.

b) *Chasse-neige classique à lame orientable.* Les modèles de grandes dimensions sont destinés à enlever à haute vitesse de grandes quantités de neige; ils sont utilisés sur les pistes lorsqu'il faut pouvoir repousser la neige à droite ou à gauche sous un angle choisi d'avance. Ce type de chasse-neige devrait être équipé d'une lame démontable à tranchants remplaçables et être actionné par un système hydraulique à commandes classiques situées dans la cabine de conduite. Le modèle du versoir devrait permettre d'utiliser indifféremment des tranchants en carbure de tungstène ou en caoutchouc/polyuréthane. Le servomécanisme d'inversion du sens de la lame devrait comporter au moins quatre positions de chaque côté de la position perpendiculaire au sens de la marche, l'angle maximal étant d'environ 35 à 40 degrés. La lame, montée sur un châssis flottant ou oscillant, devrait être dotée d'un système de verrouillage-déverrouillage automatique et, éventuellement, d'un dispositif de basculement automatique. Des semelles ou des roulettes amovibles fixées avec des boulons devraient être prévues si un tranchant non métallique est spécifié. Une lame à inclinaison réglable peut être spécifiée lorsque le chasse-neige doit être utilisé pour des opérations générales

de déneigement. La longueur du tranchant peut varier entre 1,80 m et 6 m environ et la hauteur du versoir, entre 0,88 m et 1,20 m. Lorsque le chasse-neige doit être utilisé sur des chaussées comportant des feux encastrés, il est recommandé que le tranchant soit en caoutchouc ou en polyuréthane plutôt qu'en carbure de tungstène. Une lame fortement évasée à ses extrémités peut être spécifiée pour favoriser la projection de la neige.

c) *Chasse-neige à lame pivotante en acier.* Ce type de chasse-neige est conçu pour enlever à haute vitesse de grandes quantités de neige; on l'utilise pour repousser la neige à droite ou à gauche sous un angle fixe. Son emploi n'est pas recommandé sur les aires comportant des feux encastrés et il ne peut être équipé de lames en caoutchouc ou en polyuréthane interchangeables. Il est doté d'un versoir fortement conique sur toute sa longueur, qui peut pivoter à 180 degrés autour d'un axe horizontal de façon à repousser la neige à droite ou à gauche, suivant les besoins. Un système hydraulique à commandes classiques situées à l'intérieur de la cabine permet de relever, abaisser et faire pivoter la lame. L'angle d'attaque est le même lorsque la lame est utilisée à droite ou à gauche et celle-ci est dotée de tranchants amovibles en carbure de tungstène. Le système de fixation de la lame sur le véhicule est conçu de telle sorte que la lame peut être placée en position verticale lorsqu'elle n'est pas utilisée. Suivant la taille du chasse-neige, la longueur du versoir peut varier entre 3 m et 4 m environ à la partie inférieure et la hauteur entre 1,50 m et 1,80 m à l'extrémité arrière. Ce type de chasse-neige ne possède pas de dispositif de basculement automatique de la lame.

d) *Chasse-neige à aileron niveleur gauche ou droit.* L'aileron niveleur est prévu pour les opérations intensives de déneigement et il doit pouvoir se régler à diverses hauteurs pour écrêter les congères. Il doit également pouvoir déplacer la neige à haute vitesse lorsqu'il est utilisé conjointement avec une lame convenable montée à l'avant. Il n'est pas prévu pour être utilisé sur les aires comportant des feux encastrés. Un système hydraulique à commandes classiques situées dans la cabine permet de relever et d'abaisser l'aileron et de le mettre en position de travail ou de transport, tout en maintenant un espace libre suffisant sur le côté de la cabine. L'aileron démontable mesure environ 0,62 m de haut à l'avant et 0,88 m à l'arrière et il est équipé d'un tranchant amovible en carbure de tungstène, d'un dispositif de basculement automatique de sécurité, d'une contrefiche latérale à amortisseur et d'un réglage manuel de l'inclinaison. Il est supporté de chaque côté par des montants et des dispositifs de relevage.

e) *Chasse-neige à lame latérale.* La lame latérale est montée sur le côté droit ou gauche du véhicule pour augmenter la

largeur de déneigement de la lame placée à l'avant. Lorsque la lame latérale doit être utilisée sur des chaussées comportant des feux encastrés, le tranchant standard en carbure de tungstène doit être remplacé par un tranchant en caoutchouc ou en polyuréthane. Le chasse-neige est équipé d'un système hydraulique à commandes classiques situées dans la cabine de conduite. La lame démontable mesure environ 0,76 m de hauteur à l'avant et 1,52 m à l'arrière; elle comporte un tranchant amovible et elle est dotée de contrefiches latérales à amortisseur et d'un réglage manuel de l'inclinaison. La largeur réelle de travail est d'environ 1,80 m et, lorsqu'elle n'est pas utilisée, la lame peut être repliée hydrauliquement sur le côté du véhicule (tout en préservant un espace libre par rapport à la cabine). À la place d'une commande unique, il est possible de spécifier des commandes distinctes (à l'intérieur de la cabine) pour chacune des extrémités de la lame. Un dispositif de sécurité à sensibilité réglable permet le basculement automatique de la lame à toutes les vitesses de travail. L'avant de la lame est fixé à l'avant du châssis. Le système hydraulique doit pouvoir soulever l'avant de la lame d'au moins 30 cm. La partie arrière de la lame est fixée sur le côté du châssis du véhicule, qui est renforcé pour supporter le mécanisme de réglage de l'inclinaison; toutes les contrefiches doivent être équipées d'un dispositif de sécurité à amortisseurs. Le système de fixation arrière doit être conforme aux spécifications du constructeur du véhicule. Des chaînes de sécurité doivent être installées pour les déplacements, de même qu'un dispositif de sécurité servant à maintenir la lame dans sa position repliée.

f) *Grand chasse-neige poussé à large lame orientable et ailerons repliables.* Cet engin est prévu pour les opérations de déneigement à haute ou faible vitesse et se caractérise par une grande largeur de travail. Il est actionné par un système hydraulique à commandes classiques situées dans la cabine de conduite. Il comporte une lame principale située à l'avant, dont la longueur peut varier entre 3 m et 6 m selon le modèle et deux ailerons repliables à commande hydraulique placés de part et d'autre du véhicule. La longueur des ailerons varie entre 1 m et 3 m et la largeur maximale de la lame avec les ailerons déployés est d'environ 9 m. Selon le modèle, la partie centrale et/ou les ailerons peuvent être équipés de roulettes. Le mécanisme d'inversion et les ailerons devraient être conçus de façon à réduire au minimum les dégâts occasionnés lorsque le chasse-neige percute à haute vitesse des protubérances sur la chaussée. Le tranchant peut être en polyuréthane, en caoutchouc (pour les aires comportant des feux encastrés), ou en carbure de tungstène. Les plus gros modèles sont montés sur des véhicules spécialisés d'une puissance et d'une masse relativement élevées. Lorsque la lame centrale est réglée à l'angle maximal et que les ailerons sont repliés, le chasse-neige devrait pouvoir passer par une des portes de l'atelier d'entretien de l'aéroport.

g) *Lame biaise-racloir montée sous le châssis.* Cette lame est conçue pour offrir le maximum de manœuvrabilité dans les aires restreintes qui ne comportent pas de feux encastrés et pour briser et déplacer la glace et la neige compactée. Elle est actionnée par un système hydraulique ou pneumatique à commandes classiques situées dans la cabine. Suivant la taille du chasse-neige, la lame peut mesurer jusqu'à 3,6 m avec un rayon de courbure de 30 cm à 50 cm et comporter un tranchant démontable en acier et carbure de tungstène. Le versoir est en acier résistant d'une épaisseur minimale de 1,2 cm. La lame peut être orientée hydrauliquement à gauche ou à droite par rapport à la position transversale. Un dispositif permet de régler la pression exercée sur le sol. La suspension de la lame est munie d'un système de sécurité qui se déclenche en cas de surcharge soudaine et excessive. En position de transport, la lame se replie ou se relève de façon à laisser une garde au sol de 15 cm. Le dispositif de suspension de la lame est conçu de façon à assurer une répartition de la pression aussi uniforme que possible. La couronne pivotante devrait être du type soudé et posséder au moins quatre positions de verrouillage à commande manuelle ou automatique.

h) *Lame chasse-neige pour aires de trafic.* Cette lame peut être montée sur un tracteur d'avion, un chargeur à roues, un tracteur industriel ou d'autres véhicules similaires. On obtient ainsi un chasse-neige à grande largeur de travail et à faible vitesse qui convient bien au déneigement des aires de trafic où l'espace est restreint. Il sert à dégager les abords des bâtiments de l'aérogare et les portes d'embarquement, ainsi que l'aire de trafic, mais il n'est pas prévu pour être utilisé dans les zones comportant des feux encastrés. La longueur du versoir peut atteindre 6 m, et sa hauteur est d'environ 1,42 m. Il présente une forte courbure concave et peut être muni de plaques latérales. Il possède un tranchant remplaçable en acier et carbure de tungstène et il est disposé perpendiculairement à l'axe du véhicule. Le mécanisme de fixation est du type à glissement vertical ou d'un autre type similaire à attache rapide. Le versoir doit être équipé d'au moins deux patins ou de deux roulettes. Des supports peuvent être prévus sur demande pour le stationnement et les patins peuvent remplir cette fonction sur certains modèles.

i) *Godet à neige (usage général).* Le godet doit pouvoir s'adapter sans modifications sur un chargeur à roues standard ou sur un véhicule similaire doté d'un dispositif d'attache rapide. Les godets à neige sont conçus pour le chargement ou la mise en tas de la neige. Ils sont fabriqués en acier selon les techniques habituelles de construction des chasse-neige. Leur capacité varie de 1 m<sup>3</sup> à 4 m<sup>3</sup>. Ils doivent pouvoir s'incliner d'au moins 20 degrés vers l'avant et fonctionner avec une inclinaison latérale ou en position

horizontale. L'inclinaison peut être assurée par le mécanisme articulé du véhicule lui-même.

- j) *Panier à neige*. Cet accessoire, qui se monte également sur un chargeur à roues muni d'un dispositif d'attache rapide, est utilisé pour les mêmes travaux qu'un godet standard. Sa

largeur est comprise entre 2,7 m et 5,1 m et il se manœuvre comme un godet normal. Il est constitué par un treillis souple en acier fixé sur un cadre également en acier, ce qui donne une construction à la fois solide et légère. Le cadre doit être conçu de manière à éviter toute déformation même à pleine charge dans les conditions normales d'utilisation.

---

## Appendice 8

### Bibliographie

1. On peut se procurer des exemplaires des publications ci-après en s'adressant au National Technical Information Service, Springfield, Virginia (U.S.A.) 22151 :
  - Pavement Grooving and Traction Studies, Report No. NASA 5P-507, 1969.
  - A Comparison of Aircraft and Ground Vehicle Stopping Performance on Dry, Wet, Flooded, Slush, and Ice-Covered Runways, Report No. NASA TN D-6098, novembre 1970.
  - Runway Friction Data for 10 Civil Airports as Measured with a Mu Meter and Diagonal Braked Vehicle, Report No. FAA-RD-72-61, juillet 1972.
  - Effects of Pavement Texture on Wet-Runway Braking Performance, Report No. NASA TN D-4323, janvier 1969.
  - Porous Friction Surface Courses, Report No. FAA-RD-73-197, février 1975.
  - Laboratory Method for Evaluating Effect of Runway Grooving on Aircraft Tires, Report No. EAA-RD-74-12, mars 1974.
  - Investigation of the Effects of Runway Grooves on Wheel Spin-up and Tire Degradation, Report No. FAA-RD-71-2, avril 1971.
  - Environmental Effects on Airport Pavement Groove Patterns, Report No. FAA-RD-69-37, juin 1969.
  - The Braking Performance of an Aircraft Tire on Grooved Portland Cement Concrete Surfaces, Report No. FAA-RD-80-78, janvier 1981.
  - Braking of an Aircraft Tire on Grooved and Porous Asphaltic Concrete, Report No. DOT-FAA-RD-82-77, janvier 1983.
  - Analytical and Experimental Study of Grooved Pavement Runoff, Report No. DOT-FAA-PM-83/84, août 1983.
  - Surveys of Grooves in Nineteen Bituminous Runways, Report No. FAA-RD-79-28, février 1979.
  - Modified Reflex-Percussive Grooves for Runways, Report No. DOT-FAA-PM-82-8, mars 1984.
  - The Correlation and Performance Reliability of Several Types of Friction Measuring Devices.
  - Reliability and Performance of Friction Measuring Tires and Friction Equipment Correlation, Report No. DOT/FAA/AS-90-1, mars 1990.
2. Evaluation of Two Transport Aircraft and Several Ground Test Vehicle Friction Measurements obtained for Various Runway Surface Types and Conditions, NASA Technical Paper 2917, février 1990. Peut être obtenu en s'adressant à la NASA, Code NTT-4, Washington, D.C. (U.S.A.) 20645-0001.
3. On peut se procurer des exemplaires des spécifications de l'American Society for Testing and Materials (ASTM), en s'adressant à: ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania (U.S.A.) 19103.

— FIN —





© OACI 2002  
3/02, F/P1/1000

N° de commande 9137P2  
Imprimé à l'OACI