



Circulaire d'information

Sujet : Mesure et évaluation de la rugosité de la piste

Bureau émetteur :	Aviation civile, Normes	Document n° :	CI 302-023
Dossier de classification n° :	Z 5000-34	Édition n° :	02
N° de SGDDI :	12150617-V2	Date d'entrée en vigueur :	2016-12-16

TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION.....	3
1.1	Objet.....	3
1.2	Applicabilité	3
1.3	Description des modifications	3
2.0	RÉFÉRENCES ET EXIGENCES.....	3
2.1	Documents de référence.....	3
2.2	Documents annulés	4
2.3	Définitions et abréviations	4
3.0	CONTEXTE.....	4
4.0	FACTEURS À PRENDRE EN COMPTE POUR L'ÉVALUATION DE LA RUGOSITÉ DU REVÊTEMENT.....	5
4.1	Qu'est-ce que la rugosité du revêtement?	5
4.2	Causes de la rugosité du revêtement	5
4.3	Spécifications de construction de revêtement	5
4.4	Réaction de l'aéronef à la rugosité du revêtement	6
4.5	Types de rugosité de revêtement de piste.....	6
5.0	MESURE DU PROFIL DE LA SURFACE DU REVÊTEMENT	7
5.1	Équipement de mesure	7
5.2	Intervalle de relevé.....	7
5.3	Emplacement du relevé	8
6.0	MÉTHODES D'ANALYSE DE LA RUGOSITÉ DE LA CHAUSSÉE	8
6.1	Analyse de la hauteur des bosses isolées (méthode des bosses Boeing).....	8
6.2	Indices de profil (rugosité de piste moyenne)	11
6.3	Indice de confort au roulage (RCI).....	12
6.4	Simulation informatique de rugosité pour un aéronef.....	13
7.0	MESURES CORRECTIVES POUR RÉTABLIR LA PLANÉITÉ.....	13
8.0	FRÉQUENCE ET MOMENT DES MESURES LIÉES À LA RUGOSITÉ.....	14
9.0	APPLICATIONS LOGICIELLES POUR L'ANALYSE DE LA RUGOSITÉ DU REVÊTEMENT ..	14
10.0	GESTION DE L'INFORMATION	15



11.0	HISTORIQUE DU DOCUMENT	15
12.0	BUREAU RESPONSABLE	15

Liste des figures

Figure 1 – Critères de rugosité de piste pour les bosses isolées	10
Figure 2 – Mesure de la hauteur de la bosse	10

1.0 INTRODUCTION

- 1) La présente Circulaire d'information (CI) vise à fournir des renseignements et des conseils. Elle décrit un moyen acceptable, parmi d'autres, de démontrer la conformité à la réglementation et aux normes en vigueur. Elle ne peut en elle-même ni modifier, ni créer une exigence réglementaire, ni peut-elle autoriser de changements ou de dérogations aux exigences réglementaires, ni établir de normes minimales.

1.1 Objet

- 1) Le présent document vise à fournir des lignes directrices sur la mesure et l'évaluation de la rugosité de la surface du revêtement de la piste.

1.2 Applicabilité

- 1) Le présent document s'applique aux exploitants d'aéroports canadiens et il est aussi à la disposition de l'industrie aéronautique et de la collectivité des aérodromes à des fins d'information.

1.3 Description des modifications

- 1) Modifications à la section 6.1 (1), (4), (5) et (6). Les principaux changements comprennent la terminologie et les descriptions révisées des catégories de rugosité. Un nouveau Tableau 1 résume les critères de rugosité sous forme numérique.

2.0 RÉFÉRENCES ET EXIGENCES

2.1 Documents de référence

- 2) Les documents de référence suivants sont destinés à être utilisés conjointement avec le présent document :
 - a) Partie III, sous-partie 2 du *Règlement de l'aviation canadien (RAC) — Aéroports*;
 - b) Publication de Transports Canada (TP) 312 5^e édition — *Normes relatives aux aérodromes et pratiques recommandées*;
 - c) Circulaire d'information (CI) 302-016 — *Système de gestion des chaussées d'aéroports*;
 - d) TP 892 (document de référence historique AK-68-22-000) — *Pavement Construction : Methods and Inspection*. (Une version plus récente de ce document a été publiée par Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC), Services d'architecture et de génie, Service de génie aéroportuaire comme document ASG-20, septembre 1996 — « *Pavement Construction : Methods and Inspection* »);
 - e) Circulaire d'information de la Federal Aviation Administration (FAA AC) 150/5380-9, 2009-09-30 — « *Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness* »;
 - f) Annexe 14 de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) à la Convention relative à l'aviation civile internationale — Normes et pratiques recommandées internationales : Aéroports (Septième édition, juillet 2016);
 - g) Document Boeing n° D6-81746 — « *Runway Roughness Measurement, Quantification, and Application – The Boeing Method* »;
 - h) ASTM E1364, 1995 (réapprobation en 2012) — « *Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method* »;

- i) ASTM E2133, 2003 (réapprobation en 2013) — « *Standard Test Method for Using a Rolling Inclinometer to Measure Longitudinal and Transverse Profiles of a Traveled Surface* ».

2.2 Documents annulés

- 1) Sans objet.
- 2) Par défaut, il est entendu que la publication d'une nouvelle édition d'un document annule automatiquement toutes les éditions antérieures de ce même document.

2.3 Définitions et abréviations

- 1) Les **définitions** suivantes s'appliquent aux fins du présent document :
 - a) **Macrotecture** : rugosité grossière de la surface de la piste dans son ensemble produite par les bosses et les creux formés par des granulats;
 - b) **Microtexture** : rugosité précise de chacun des granulats pouvant ne pas être facile à percevoir à l'œil, mais qui devrait être perceptible au toucher.
- 2) Les **abréviations** suivantes s'appliquent aux fins du présent document :
 - a) **CI** : circulaire d'information
 - b) **FAA** : Federal Aviation Administration
 - c) **OACI** : Organisation de l'aviation civile internationale
 - d) **IRI** : indice de rugosité international
 - e) **RCI** : indice de confort au roulage
 - f) **RMSVA** : moyenne quadratique de l'accélération verticale
 - g) **TP** : publication de Transports Canada

3.0 CONTEXTE

- 1) La TP 312 5^e édition – *Aérodromes, normes et pratiques recommandées*, section 3.1.3.1 indique : « La surface d'une piste ne comporte pas d'irrégularités qui auraient pour effet de réduire les caractéristiques de frottement ou de nuire à l'exploitation d'aéronefs. *Note 1.* – *Les irrégularités de la surface peuvent nuire au décollage ou à l'atterrissage d'un avion en provoquant des cahots, un tangage ou des vibrations excessives, ou d'autres difficultés dans la conduite de l'avion.* » De plus, la section 3.5.1.6 de la TP 312 indique que « La surface d'une voie de circulation ne présente pas d'irrégularités pouvant endommager la structure des aéronefs. »
- 2) Les surfaces de piste d'aéroport ne doivent pas présenter d'irrégularités qui pourraient nuire à l'exploitation des aéronefs. La planéité de la surface de la piste est très importante pour l'exploitation en sécurité d'un aéronef durant la course au décollage et à l'atterrissage. Les irrégularités et la rugosité de la surface peuvent influencer sur la sécurité de l'exploitation des aéronefs de la manière suivante :
 - a) assujettir l'aéronef à des mouvements excessifs de roulis et de tangage qui pourraient interférer avec les performances et la maîtrise de l'aéronef;
 - b) endommager la structure de l'aéronef et entraîner la fatigue de composants à la suite de plusieurs cycles sol-air-sol;
 - c) être la cause de l'envol de l'aéronef;
 - d) réduire le contact pneu/piste de l'aéronef, ce qui peut avoir un effet sur la rétroaction des dispositifs de freinage anti dérapage et réduire le rendement de l'aéronef;

- e) entraîner des problèmes de vibration qui rendent la lecture des instruments de bords difficile pour les pilotes.
- 3) Une rugosité excessive peut également rendre les passagers inconfortables et les inquiéter. Toutefois, la suspension de l'aéronef est conçue pour l'atterrissage plutôt que pour la qualité du roulement.

4.0 FACTEURS À PRENDRE EN COMPTE POUR L'ÉVALUATION DE LA RUGOSITÉ DU REVÊTEMENT

4.1 Qu'est-ce que la rugosité du revêtement?

- 1) Il y a rugosité (ou manque de planéité) du revêtement lorsque les irrégularités de la surface dans le profil du revêtement sont suffisamment importantes pour nuire au bon fonctionnement de l'aéronef ou pour endommager la structure d'un aéronef ou entraîner sa fatigue.
- 2) La rugosité du revêtement, comme le décrit la présente CI, n'est pas semblable à la texture du revêtement, la rugosité précise du revêtement connue comme microtexture ou macrotexture qu'on peut percevoir en passant la main sur la surface. La texture et le rainurage du revêtement ne sont pas des sources de rugosité.

4.2 Causes de la rugosité du revêtement

- 1) Plusieurs facteurs peuvent entraîner la rugosité du revêtement d'aéroport :
 - a) une rugosité minime est habituellement intégrée dans le nouveau revêtement en raison des techniques de construction imparfaites;
 - b) la rugosité de la surface du revêtement augmente au fil du temps. À mesure que le revêtement vieillit, des fissures commencent à se former à la surface, notamment des fissures de contraction thermique qui se produisent presque assurément dans les revêtements d'asphalte au cours des premiers hivers de mise en service. La fissuration de la surface contribue à la rugosité;
 - c) le mouvement différentiel de la surface du revêtement comme un soulèvement par le gel, les tassements, et les changements dans l'état du terrain de fondation peuvent entraîner la rugosité de la surface;
 - d) lorsque le revêtement approche la fin de sa durée de vie utile, la rugosité peut commencer à augmenter rapidement à mesure que la surface se dégrade sous la circulation et que les travaux de réfection deviennent plus importants.

4.3 Spécifications de construction de revêtement

- 1) Pour que la construction d'un nouveau revêtement soit acceptée, la rugosité est habituellement mesurée au moyen d'une règle à araser.
- 2) Les spécifications historiques de Transports Canada pour les essais d'acceptation des nouveaux revêtements afin de vérifier les irrégularités de surface sont indiquées dans le document *ASG-20 Pavement Construction : Methods and Inspection* :

[Traduction]

« La surface finie d'un revêtement (béton asphaltique ou ciment Portland) doit être à 5 mm de la pente de conception, mais elle ne doit pas être élevée ou basse de manière uniforme, et ne doit présenter aucune irrégularité de plus de 5 mm lorsqu'elle est vérifiée au moyen d'une règle à araser de 4,5 m, quelle que soit la direction. »

- 3) L'annexe 14 de l'OACI, Supplément A, section 5, indique les spécifications recommandées suivantes en ce qui concerne les irrégularités de surface de piste :

« 5.1 Lors de l'adoption de marges de tolérances pour les irrégularités de la surface des pistes, la norme de construction ci-après est applicable sur de courtes distances de l'ordre de 3 m, et elle est conforme à une technique rationnelle :

Excepté à l'endroit de la crête d'un bombement ou à l'endroit des caniveaux d'assèchement, la surface de la couche portante doit présenter, une fois finie, une planéité telle qu'en posant une règle à araser de 3 m, en un point quelconque et dans n'importe quel sens, il n'existe en aucun point un écart supérieur à 3 mm entre le bord inférieur de la règle et la surface de la chaussée.

5.2 L'installation de feux de piste encastrés ou de grilles d'écoulement à la surface des pistes doit être effectuée avec précaution de manière à garder à la surface une planéité satisfaisante. »

- 4) Durant l'élaboration et la spécification des seuils de tolérance servant au contrôle des irrégularités de surface de piste, il est important de reconnaître que la rugosité de la surface augmente à mesure que le revêtement vieillit, donc les tolérances adoptées pour les procédures de construction devraient être plus strictes que les tolérances d'entretien (exploitation d'aéronef) spécifiées pour la rugosité.

4.4 Réaction de l'aéronef à la rugosité du revêtement

- 1) La mesure et l'évaluation de la rugosité sont un problème complexe en raison des différences de taille et de performance des aéronefs. La réaction à la rugosité dépend selon le type d'aéronef, y compris sa méthode d'exploitation, sa masse, la portance qu'il produit, l'empatement, le fonctionnement du train d'atterrissage et la vitesse à laquelle l'aéronef rencontre une bosse ou une dépression.
- 2) La réaction de l'aéronef dépend également de la hauteur et de la longueur de la bosse ou de la dépression, son emplacement dans le profil et s'il y en a plusieurs en succession, ce qui amplifie l'effet de leur rugosité.
- 3) Il est très important de réduire au minimum la rugosité des profils de surface étant donné l'engagement qu'un aéronef doit effectuer pour décoller et atterrir. Contrairement à une automobile qui rencontre une section cahoteuse d'une chaussée, l'aéronef, lorsqu'il a commencé à décoller ou à atterrir, ne peut pas ralentir pour réduire les effets de la rugosité ou changer de voie pour éviter la section rugueuse de la piste.
- 4) Les plaintes formulées par les pilotes constituent souvent la première indication de défaillance du profil du revêtement et qu'une étude plus poussée peut être requise.

4.5 Types de rugosité de revêtement de piste

- 1) La mesure et l'analyse de la rugosité du revêtement de la piste devrait tenir compte de deux types de rugosités :
 - a) Des bosses et des dépressions isolées dans le profil où il y a des changements d'élévation excessifs par rapport à la distance de base de la bosse ou de la dépression. La longueur d'une courte bosse peut aller de presque zéro, comme un changement d'élévation abrupt du béton, à l'empatement d'une voiture à passagers normale. La longueur des bosses longues peut atteindre environ 60 mètres et avoir divers effets sur un aéronef. Une analyse de la hauteur et de la distance de la bosse (méthode de bosse Boeing) peut être utilisée pour déceler les bosses et les dépressions isolées.
 - b) Une rugosité de profil moyenne pour la piste au complet (ou des sections de la piste). La rugosité de profil moyenne peut être déterminée en analysant le profil du revêtement pour calculer un indice de rugosité moyen comme l'indice de rugosité international (IRI) ou la moyenne quadratique de l'accélération verticale (RMSVA). Un indice de rugosité moyen peut être inclus dans le système de gestion des chaussées d'aérodromes (CI 302-016) en tant que donnée d'essai non destructif utilisée pour prévoir l'état de la chaussée et le besoin de la remettre en état.

5.0 MESURE DU PROFIL DE LA SURFACE DU REVÊTEMENT

- 1) La mesure du profil de surface longitudinal de la chaussée peut être utilisée pour évaluer l'importance des bosses isolées et pour calculer un degré moyen de rugosité de profil en utilisant divers indices.
- 2) Lorsque les techniques de mesure sont utilisées, il se peut qu'il ne soit pas nécessaire de mesurer toute la longueur de la piste, mais seulement la section rugueuse.

5.1 Équipement de mesure

- 1) La mesure des profils de piste pour effectuer une analyse de la rugosité d'une piste nécessite un dispositif de mesure de « classe I » ayant une précision verticale de 0,01 mm.
- 2) La méthode traditionnelle de levé au moyen d'un niveau et d'une mire est habituellement la norme en fonction de laquelle les autres types d'équipement d'établissement de profil sont évalués. Toutefois, les méthodes de levé au moyen d'un niveau et d'une mire prennent trop de temps à exécuter, sauf dans le cas des profils courts. La norme ASTM E1364 fournit une méthode d'essai pour mesurer le profil longitudinal d'une chaussée au moyen d'un niveau naturel afin d'obtenir un indice de rugosité.
- 3) Un dispositif d'établissement de profil utilisant un inclinomètre est un dispositif à main mobile monté sur une poutre rigide d'une longueur d'au plus 0,305 m (1 pied). Le profil est établi grâce à la mesure de l'inclinaison de la poutre, qui progresse le long de la section de chaussée par étape dont la longueur est égale à la longueur de la poutre. La distance et l'élévation sont enregistrées à chaque étape pour établir le profil. Il est plus rapide d'utiliser un dispositif d'établissement de profil utilisant un inclinomètre qu'un niveau et une mire puisqu'il peut être utilisé à une vitesse pouvant aller jusqu'à 4 km/h. La norme ASTM E2133 fournit une méthode d'essai pour la mesure des profils longitudinaux sur les surfaces de revêtement à l'aide d'un inclinomètre sur roue pouvant aller à vitesse de marche.
- 4) Les dispositifs d'établissement de profil à inertie (tant léger que haute vitesse) utilisent une plateforme installée sur un véhicule d'essai pour transporter de l'équipement laser ou acoustique qui mesure la distance entre la plateforme et la surface de la chaussée, ainsi qu'un accéléromètre qui assure le suivi de l'élévation de la plateforme. Les dispositifs d'établissement de profil à inertie comprennent habituellement une fonction de filtrage passe-haut du traitement du signal de l'accéléromètre afin de réduire les erreurs découlant des pentes changeantes et du freinage et de l'accélération du véhicule d'essai. Le filtrage passe-haut peut avoir un effet considérable sur les calculs utilisant la méthode de bosse Boeing et dans les simulations de rugosité pour aéronef en raison des longueurs relativement plus grandes évaluées. De plus, les dispositifs d'établissement de profil à inertie produisent d'importantes erreurs de profil durant le freinage et l'accélération du véhicule d'essai. Pour ces raisons, l'utilisation des dispositifs d'établissement de profil à inertie ayant une fonction de filtrage passe-tout ne sont pas recommandés pour la mesure des profils de piste aux fins des analyses de la rugosité utilisant la méthode de bosse Boeing, ou pour les simulations de rugosité pour aéronef sur ordinateur.

5.2 Intervalle de relevé

- 1) Une analyse complète des caractéristiques de rugosité nécessite un profil établi au moyen de mesures de l'élévation à un intervalle ne dépassant pas 0,305 m (1 pi). Le logiciel de la Federal Aviation Administration (FAA) (PROFAA) décrit plus loin exige un intervalle de relevé de profil de 0,25 m (0,82 pi) pour l'évaluation de bosse Boeing.
- 2) Il est également possible d'utiliser la méthode habituelle d'un niveau et d'une mire à des intervalles ne dépassant pas 3 mètres pour effectuer des analyses de la hauteur et de la longueur d'une bosse dans le cas des bosses dont la longueur fait plus du double de l'espacement d'intervalle d'élévation. Toutefois, les relevés utilisant le niveau et la mire à des

intervalles de 3 mètres ne sont pas acceptables pour le calcul des indices de rugosités comme le RCI, l'IRI et la RMSVA.

5.3 Emplacement du relevé

- 1) Les mesures du profil de la chaussée sont habituellement effectuées à 3 mètres à gauche et à droite de l'axe de piste afin de reproduire la trajectoire de la roue d'un aéronef de taille moyenne. Il peut également être préférable d'effectuer des mesures en suivant l'axe de piste afin d'évaluer la rugosité de la trajectoire du train avant et à un décalage de 5 à 6 mètres (nominalement 5,25 mètres) de l'axe de piste pour reproduire la trajectoire du train extérieur d'un aéronef à fuselage large.

6.0 MÉTHODES D'ANALYSE DE LA RUGOSITÉ DE LA CHAUSSÉE

6.1 Analyse de la hauteur/longueur des bosses du profile (méthode des bosses Boeing)

- 1) Des directives sur l'évaluation du profil d'une surface de revêtement pour déceler les bosses/dépressions isolées pouvant avoir un effet sur l'exploitation des aéronefs sont fournies au Supplément A, section 5 de l'annexe 14 de l'OACI. Les critères de rugosité de piste indiqués à la figure A-3 de l'annexe 14 de l'OACI constituent une analyse de la hauteur/longueur de la bosse, ou la méthode « bosse Boeing ». La figure 1 de la présente CI comprend également des critères de hauteur/longueur de bosse pour les bosses isolées (les critères sont adaptés de la figure A-3 de l'annexe 14 de l'OACI). Les critères de rugosité de piste sont résumés sous forme numérique au tableau 1.
- 2) L'analyse de la hauteur/longueur de la bosse consiste à construire une règle à araser virtuelle entre deux points dans le profil d'élévation et à mesurer l'écart entre la règle à araser et la chaussée. La « hauteur de la bosse » est l'écart maximal (positif ou négatif) entre la règle à araser et la chaussée alors que la « longueur de la bosse » est la distance la plus courte d'une des extrémités de la règle à araser à l'emplacement où la bosse est mesurée. La longueur minimale de règle à araser est le double de l'intervalle de relevé de profil de piste. La détermination de la hauteur de la bosse et de la longueur de la bosse est illustrée à la figure 2.
- 3) La méthode de bosse Boeing prend en compte des longueurs (de profil) de règles à araser allant jusqu'à 120 mètres. L'analyse d'une bosse isolée comprend le calcul de toutes les combinaisons de hauteur et de longueur de bosse dans le profil jusqu'à une longueur de bosse d'environ 60 mètres et la comparaison des résultats de chaque combinaison aux critères de la figure A-3 de l'annexe 14 de l'OACI (ou la figure 1 de la présente CI). En raison du nombre considérable de combinaisons de hauteur et de longueur de bosse, un logiciel est normalement requis pour la réalisation d'une analyse de bosse isolée.
- 4) Les lignes directrices ci-dessous aideront à comprendre l'effet que des bosses ou dépressions isolées peuvent avoir sur la réaction d'un aéronef et à déterminer la nécessité d'une mesure corrective. Le titre descriptif renvoie aux quatre plages définies à la figure A-3 de l'annexe 14 de l'OACI.
 - a) « Plage des valeurs acceptables » – Les combinaisons de hauteur et de longueur de bosse dans cette plage ne devraient pas avoir un effet négatif sur l'exploitation des aéronefs.
 - b) « Plage des valeurs tolérables » – Pour les combinaisons de hauteur et longueur de bosses dans cette plage, des mesures d'entretien correctif devraient être planifiées. La piste peut demeurer en service. Cette plage des valeurs correspond au début possible d'un inconfort pour les passagers et les pilotes.
 - c) « Plage des valeurs excessives » – Pour les combinaisons de hauteur et longueur de bosses dans cette plage, des mesures correctives devraient être prises immédiatement pour remettre la piste dans un état acceptable. La piste peut demeurer en service, mais

devrait être réparée à l'intérieur d'un délai raisonnable. Les irrégularités de cette plage pourraient créer un risque d'endommagement structural des aéronefs causé par un événement individuel ou une défaillance due à la fatigue au fil du temps.

- d) « Plage des valeurs inacceptables » – Pour les combinaisons de hauteur et de longueur de bosses dans cette plage, il est justifiée de fermer la portion de la piste qui présente les irrégularités. Des réparations doivent être effectuées pour remettre la piste dans un état acceptable, et les exploitants d'aéronef peuvent alors être avisés selon qu'il convient. Cette plage correspond à un risque extrême d'endommagement structural des aéronefs et nécessite des mesures correctives immédiates
- 5) La hauteur tolérable maximale d'une irrégularité en forme de marche, que l'on pourrait trouver par exemple à la jonction de deux dalles de béton, est simplement la hauteur correspondant à la valeur zéro de la longueur de l'irrégularité à la limite supérieure de la plage tolérable des critères de rugosité indiqués à la Figure 1. La hauteur de la bosse à cette limite est de 1,75 cm.
- 6) Toutefois, une analyse de la hauteur/longueur d'une bosse isolée ne tient pas compte de la contribution de plusieurs bosses ou de séquences de bosses à la rugosité ni des effets des harmoniques à grande longueur d'onde.
- 7) Une analyse de la hauteur/longueur d'une bosse isolée devrait être effectuée lorsque des pilotes formulent des plaintes sur des bosses ou des dépressions excessives dans la surface du revêtement.

Tableau 1 – Critères de rugosité de piste pour les bosses isolées

Irrégularité de la surface (bosse)	Longueur de l'irrégularité (en m)								
	3	6	9	12	15	20	30	45	60
Hauteur acceptable des irrégularités de la surface (en cm)	2.9	3.8	4.5	5	5.4	5.9	6.5	8.5	10
Hauteur tolérable des irrégularités de la surface (en cm)	3.9	5.5	6.8	7.8	8.6	9.6	11	13.6	16
Hauteur excessive des irrégularités de la surface (en cm)	5.8	7.6	9.1	10	10.8	11.9	13.9	17	20

Figure 1 – Critères de rugosité de piste pour les bosses isolées

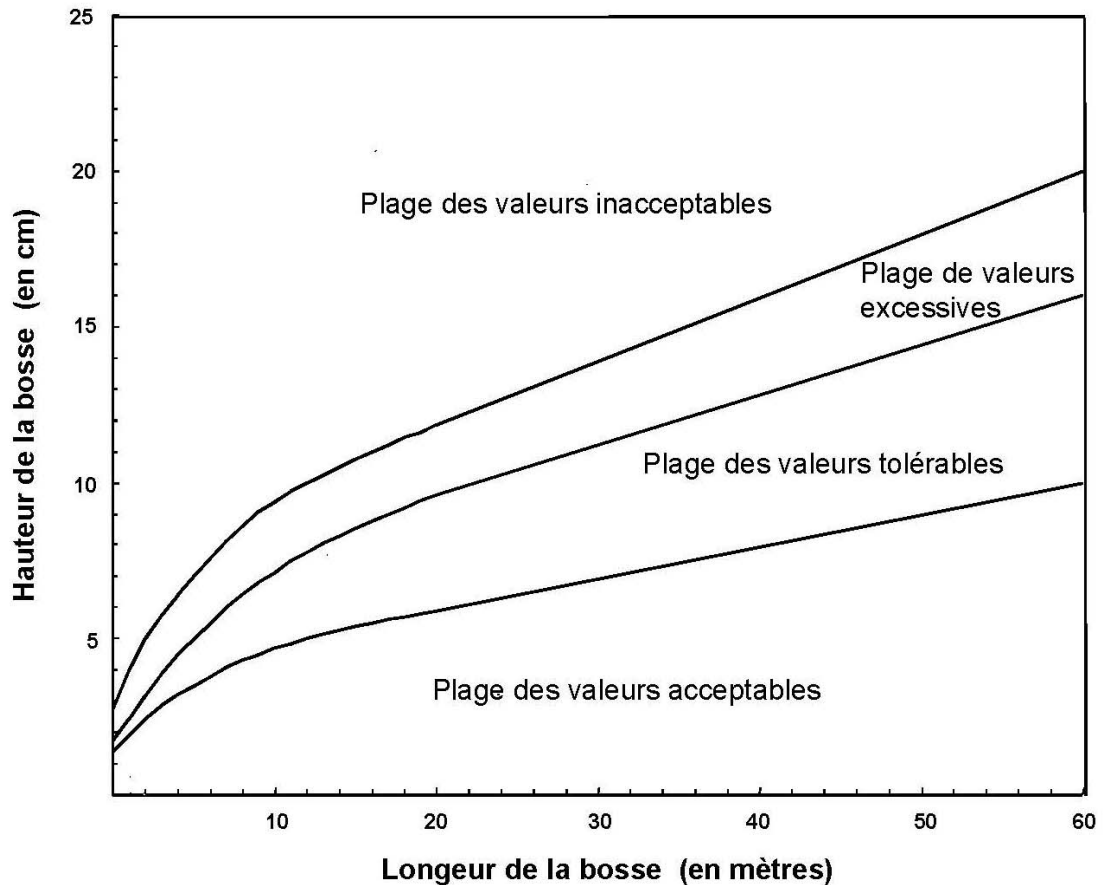
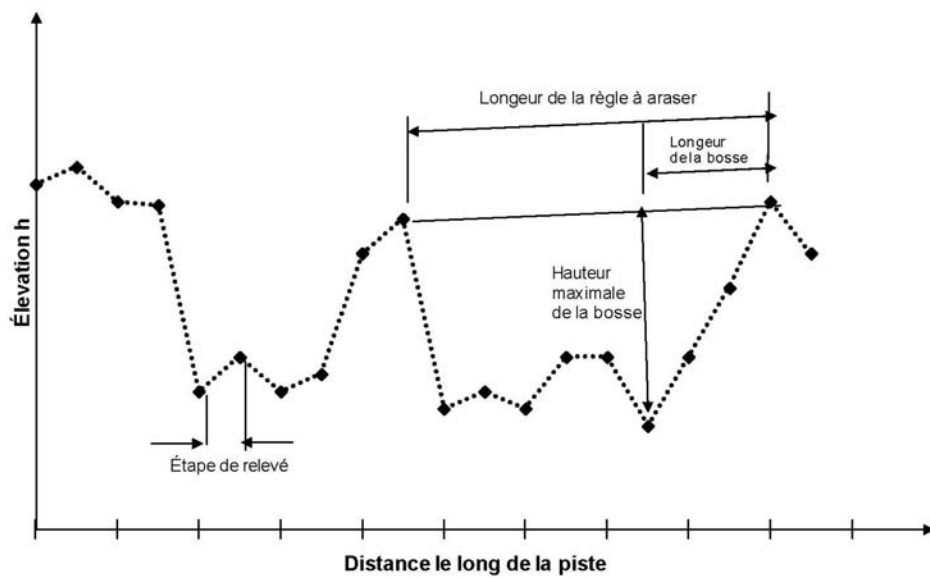


Figure 2 – Mesure de la hauteur de la bosse



6.2 Indices de profil (rugosité de piste moyenne)

1) Les indices de rugosité moyenne suivants peuvent être calculés à partir d'un profil de piste pour exprimer le niveau moyen de rugosité.

a) Indice de rugosité international (IRI)

L'indice de rugosité international (IRI) est régulièrement utilisé pour les autoroutes. L'IRI peut être calculé pour le profil au couplet et pour des sections de 100 mètres afin de détecter des parties du profil de la piste dont la rugosité est plus élevée. L'IRI est calculé conformément à la norme ASTM E1364.

b) Moyenne quadratique de l'accélération verticale (RMSVA)

La moyenne quadratique de l'accélération verticale (RMSVA) est un autre indice de profil qui peut être utilisé pour exprimer le niveau moyen de rugosité. La RMSVA peut être calculée pour la piste au complet et des sections de 100 mètres afin de détecter des parties de la piste dont la rugosité est élevée. La RMSVA d'un profil de revêtement est calculée en suivant la formule mathématique suivante :

$$RMSVA_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=k+1}^{i=n-k} VA(i)^2}{n-2k}}$$

où l'accélération verticale (VA) correspond à la formule suivante :

$$VA(i) = \frac{y(i+k) + y(i-k) - 2y(i)}{b^2}$$

et où :

$RMSVA_b$ = Moyenne quadratique de l'accélération verticale (mm/m²) calculée selon une longueur de base b

VA(i) = accélération verticale (mm/m²) au point « i » du profil

n = nombre d'élévations du profil

i = indice désignant le ⁱème point du profil

b = longueur de base (m) utilisée pour le calcul de la $RMSVA_b$ (1,5 m de préférence)

(Note : « b » est la distance entre le point de profil « i - k » et « i » et, pareillement, la distance entre le point de profil « i » et « i+k »)

dx = distance entre les points de profil (m)

k = b / dx

y(i) = élévation (mm) au point de profil « i »

2) En raison de la complexité des calculs, le calcul des indices de rugosité IRI et RMSAV à partir d'un profil de surface longitudinal rend l'utilisation d'un logiciel essentiel.

6.3 Indice de confort au roulage (RCI)

- 1) Historiquement, Transports Canada a utilisé l'indice de confort au roulage (RCI) pour évaluer la rugosité du revêtement de la piste. Le RCI est une méthode subjective de qualifier la rugosité du revêtement sur une échelle de 0 à 10 en circulant dans une automobile; un RCI de 0 représente un roulement de mauvaise qualité et un RCI de 10 représente un roulement de très bonne qualité. Toutefois, le RCI n'indique pas la présence de bosses individuelles dont l'importance est excessive puisque les aéronefs réagissent à des irrégularités de profil dont la longueur est plus importante qui n'ont pas d'effet sur une automobile.
- 2) Bien que le RCI constitue une mesure subjective de la qualité du roulement à bord d'une automobile, l'indice donne une idée générale de la rugosité moyenne du revêtement pour un pilote. Dans le cas d'une piste sur laquelle des aéronefs à turboréacteur circulent, il y a lieu de s'attendre à des plaintes des pilotes lorsque le RCI est inférieur à 5 et les plaintes sont très probablement acceptées si le RCI est inférieur à 4. Si les plaintes des pilotes sur la rugosité de la piste sont acceptées et que le RCI est acceptable, le profil de la piste devrait être évalué en fonction de bosses individuelles dont l'importance est excessive.
- 3) Des corrélations ont été établies entre le RCI et les indices de rugosité de profil décrits ci-dessus (IRI et RMSVA) et peuvent être utilisées pour déterminer un RCI correspondant de la manière suivante :
 - a) L'équation suivante peut être utilisée pour déterminer les valeurs RCI à partir des valeurs IRI :

$$\text{RCI} = 10 * e^{(-0.255 * \text{IRI})}$$
 où :
 RCI = indice de confort au roulage
 e = base du logarithme naturel (2,71828)
 IRI = indice de rugosité international (mm/m) calculé à partir d'un profil mesuré
 - b) L'équation suivante peut être utilisée pour déterminer les valeurs RCI à partir des indices de profil RMSVA :

$$\text{RCI} = 10 * e^{(-0.366 * \text{RMSVA}_b)}$$
 où :
 RCI = indice de confort au roulage
 e = base du logarithme naturel (2,71828)
 RMSVA = moyenne quadratique de l'accélération verticale (mm/m²) calculée à partir d'un profil mesuré en utilisant une longueur de base « b » de 1,5 m
 - c) Si la RMSVA est déterminée selon une autre longueur de base que 1,5 m, l'équation suivante peut être utilisée pour déterminer les valeurs RCI à partir des indices de profil RMSVA :

$$\text{RCI} = 10 * e^{(c * \text{RMSVA}_b)}$$
 où :

$$c = (-0,355 * b) + 0,164$$
 et :
 b = la longueur de base (en mètres) utilisée pour déterminer l'indice de profil RMSVA_b.

- 4) Si les valeurs RCI sont calculées à partir de l'IRI et de la RMSVA, la moyenne des deux valeurs RCI peut être utilisée pour représenter une rugosité de profil moyenne.
- 5) Le RCI peut être calculé pour les sections de 100 mètres pour déceler les parties du profil de la piste ayant une rugosité plus importante. Toutefois, les lignes directrices sur la rugosité se fondent sur la moyenne de RCI pour la piste au complet.
- 6) Le tableau 1 fournit les lignes directrices sur l'indice de rugosité de la piste utilisé historiquement par Transports Canada, lesquelles sont fondées sur le RCI moyen sur toute la longueur du profil longitudinal de la piste.

Tableau 2 – Lignes directrices sur l'indice de rugosité de la piste utilisé historiquement fondées sur le RCI

Directives de remise en état historiques	Aéronefs à turboréacteur	Aéronefs autres que les aéronefs à turboréacteur
	Lorsque le « RCI » moyen de la piste est inférieur à	
Plan de mesure corrective prévu	5,0	4,0
Prendre une mesure corrective	4,0	3,0

6.4 Simulation informatique de rugosité pour un aéronef

- 1) Lorsque le profil de la surface longitudinal du revêtement d'une piste est mesuré, des techniques de simulation mathématique peuvent également être utilisées pour évaluer la réaction d'un aéronef à plusieurs événements de rugosité figurant dans le profil et pour déterminer l'importance et l'emplacement de la rugosité. Un logiciel est nécessaire pour simuler le décollage, l'atterrissage, ou la course à vitesse constante d'un aéronef sur toute la longueur du profil et évaluer la qualité du roulement de l'aéronef selon l'accélération verticale du train d'atterrissage.
- 2) Bien que des critères normalisés ne sont pas disponibles pour l'évaluation des résultats des simulations de la rugosité pour un aéronef, la limitation de l'accélération verticale maximale subie par le train d'atterrissage à une valeur inférieure à environ 0,35 à 0,4 g (accélération gravitationnelle) est jugé comme un objectif généralement réalisable et acceptable.
- 3) Les simulations informatiques des courses au décollage et à l'atterrissage d'un aéronef sur un profil de surface sont la meilleure représentation de la réaction probable d'un aéronef aux distances courtes et longues de rugosité présente dans le profil. Beaucoup des variables de rugosité liées à la cause et à l'effet qui ne sont pas prises en compte dans d'autres techniques le sont dans la simulation, y compris les événements multiples de rugosité dans le profil, la dynamique du train d'atterrissage, la vitesse de rencontre de la bosse, la masse de l'aéronef supportée par le sol et les facteurs environnementaux et d'élévation du site de l'aéroport.

7.0 MESURES CORRECTIVES POUR RÉTABLIR LA PLANÉITÉ

- 1) La TP 312, section 2.5.1.1 indique : « Des renseignements sur l'état de l'aire de mouvement et le fonctionnement des installations connexes sont communiqués aux organes appropriés des services d'information aéronautique, et d'autres renseignements analogues, importants du point de vue opérationnel, seront communiqués aux organes des services de la circulation aérienne, afin de leur permettre de fournir les renseignements nécessaires aux aéronefs au moment de

l'arrivée et du départ. Ces informations seront tenus à jour et tout changement sera signalé sans délai.».

Section 2.5.1.2 indique : « L'état de l'aire de mouvement et le fonctionnement des installations connexes sont surveillés. Des comptes rendus sur des questions touchant l'exploitation ou influant sur les performances des aéronefs sont communiqués aux AIS (s'ils sont fournis) ou directement à l'équipage, notamment sur ce qui suit : b) parties irrégulières or détériorées de la surface d'une piste».

- 2) La décision sur le moment où une mesure corrective est nécessaire pour rétablir la planéité de la surface et le type de mesure pour ce faire dépendent de la méthode d'analyse de la rugosité utilisée et du type, de l'emplacement, de l'importance et de l'étendue de la rugosité inacceptable décelée sur la surface; par exemple, une rugosité localisée ou une rugosité générale partout sur la surface. La rugosité excessive est citée pour environ 15 à 20 p. 100 des projets de remise en état du revêtement des aéroports.
- 3) Lorsqu'il est déterminé qu'un profil de surface de piste contient une bosse classée « Excessive » comme l'indique la figure 1 (ou la figure A-3 de l'Annexe 14 de l'OACI), une mesure corrective devrait être immédiatement prise même si la piste peut rester en service.
- 4) Lorsqu'il est déterminé qu'un profil de surface de piste contient une bosse classée « Inacceptable » comme l'indique la figure 1, la fermeture de la zone de la piste où se situe la bosse doit être considérée jusqu'à la prise d'une mesure corrective pour rétablir la planéité de la surface.
- 5) Des mesures correctives (comme la mise à niveau et le meulage) peuvent être appliquées à un profil de surface de revêtement informatique et l'analyse de la rugosité peut être effectuée de nouveau pour évaluer à quel point la mesure est efficace pour atténuer le problème de rugosité.

8.0 FRÉQUENCE ET MOMENT DES MESURES LIÉES À LA RUGOSITÉ

- 1) La fréquence et le moment des mesures de la rugosité sont établis par l'autorité aéroportuaire. Les plaintes formulées par les pilotes constituent souvent la première indication de défaillance du profil du revêtement et signifient qu'une étude plus poussée (mesures de rugosité) peut être requise. La rugosité des surfaces de revêtement augmentera à mesure que le revêtement vieillit et à mesure que divers défauts apparaissent dans la structure.
- 2) Il est également souhaitable de mesurer les profils de surface longitudinaux des pistes pavées nouvelles, des pistes reconstruites et des pistes dont le revêtement a été remplacé avant la mise en service de la nouvelle surface ou dès que possible après sa mise en service. La mesure du profil de surface de la piste sert également de vérification de la construction et représente un modèle auquel les mesures subséquentes de la rugosité et la détérioration peuvent être évaluées durant la vie du revêtement.

9.0 APPLICATIONS LOGICIELLES POUR L'ANALYSE DE LA RUGOSITÉ DU REVÊTEMENT

- 1) La FAA dispose d'un logiciel dans son site Web appelé « ProFAA » qui fournit la capacité de simuler les procédures d'évaluation de la rugosité et de calculer les indices de rugosité associés des manières suivantes :
 - a) règle à araser
 - b) bosse Boeing
 - c) indice de rugosité international (IRI)
 - d) profilographe Californie
 - e) « RMS Bandpass »

De plus, le logiciel peut simuler la réaction d'une gamme d'aéronefs représentatifs et calculer la moyenne quadratique des accélérations verticales et des charges dynamiques de trains à partir des réactions simulées.

- 2) D'autres logiciels exclusifs peuvent être utilisés pour la simulation mathématique de la réaction d'un aéronef à un profil de piste. Les types d'analyses portent sur les simulations de décollage et d'atterrissage d'aéronef pour simuler les forces « g » et les simulations de vitesse constante de l'aéronef pour étudier les effets de la vitesse sur la réaction de l'aéronef à la rugosité en matière d'accélération verticale du train d'atterrissage.

10.0 GESTION DE L'INFORMATION

- 1) Sans objet.

11.0 HISTORIQUE DU DOCUMENT

- 1) Circulaire d'information (CI) 302-023 Édition 01, SGDDI 10840456 (F), 10840432 (E), daté 2015-09-16 – *Mesure et évaluation de la rugosité de la piste.*

12.0 BUREAU RESPONSABLE

Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec :

<http://www.tc.gc.ca/fra/regions.htm>

Toute proposition de modification au présent document est bienvenue et devrait être soumise à l'adresse de courriel :

TC.FlightStandards-Normsvol.TC@tc.gc.ca

Le directeur, Normes
Aviation civile

[original signé par]

Robert Sincennes