

Analyse comparative des technologies SurPRO, LDTM et LiDAR terrestre pour la mesure du profil longitudinal des chaussées aéroportuaires

INTRODUCTION

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) est propriétaire de 26 aéroports qui sont répartis sur le territoire québécois, soit 10 aéroports avec pistes revêtues et 16 aéroports avec pistes en gravier. La connaissance de l'état des pistes est nécessaire pour le MTQ afin qu'il puisse assurer une bonne gestion de ses chaussées aéroportuaires. Pour les chaussées revêtues, différents relevés d'état des pistes sont effectués. Les relevés d'adhérence, de portance et de planéité sont réalisés à l'aide d'équipements d'auscultation, alors que d'autres relevés le sont au moyen d'inspections visuelles selon la norme ASTM D5340-12 (2018).

La possibilité d'automatiser la mesure de certaines caractéristiques a été étudiée par le MTQ afin d'améliorer la répétabilité, la reproductibilité, la qualité et le suivi des données relevées ainsi que de réduire les frais d'exploitation. Le MTQ a réalisé un projet de recherche qui visait à comparer le rendement et la qualité des nuages de points de deux technologies d'auscultation automatisées des chaussées.

Dans le cadre de ce projet, la planéité de la surface des pistes est l'une des caractéristiques qui ont été évaluées. La méthode utilisée au MTQ a été comparée avec deux technologies automatisées. Cet article présente les trois équipements utilisés, les analyses effectuées sur les profils longitudinaux et les résultats obtenus.

ÉQUIPEMENT MANUEL

L'équipement utilisé au MTQ pour mesurer le profil longitudinal des pistes aéroportuaires revêtues est un profilomètre à basse vitesse de marque SurPRO fabriqué par International Cybernetics Corporation (figure 1) (réf. 1). Cet équipement permet la mesure en continu des élévations du profil et est reconnu comme étant un équipement de référence dans le domaine.



Figure 1 – SurPRO
par International Cybernetics Corporation

Les relevés réalisés au moyen du SurPRO le sont par un opérateur à une vitesse de marche de 1,5 km/h. Ils sont effectués au centre de la piste ainsi qu'à 3 m de part et d'autre du centre, et ce, sur

toute la longueur de la piste afin de reproduire la trajectoire des roues d'un aéronef de taille moyenne. Pour relever un profil longitudinal le plus rectiligne possible, des marques sur la chaussée sont tracées tous les 30 m. La durée des relevés varie d'une demie à une journée complète selon la longueur de la piste et le temps alloué sur la piste en fonction des contraintes de vols. De plus, les relevés sont réalisés à l'été comme à l'hiver ainsi que sur des pistes non accessibles par la route. Le MTQ possède trois aéroports avec pistes revêtues qui ne sont pas accessibles par la route.

Ce type de relevé permet de vérifier la conformité de la planéité des surfaces des pistes au regard des critères de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI, annexe 14, volume I, supplément A, 7^e édition, juillet 2016). Les irrégularités de la surface sont évaluées en fonction de leur longueur et hauteur. Le *Boeing Bump Index* (BBI) correspond à une variante des critères de l'OACI et est défini par la Federal Aviation Administration (FAA) dans le document AC 150/5380-9. Le logiciel ProFAA, développé par la FAA et diffusé gratuitement, permet entre autres de calculer le BBI.

ÉQUIPEMENTS AUTOMATISÉS

Parmi les technologies disponibles pour l'auscultation automatisée des chaussées aéroportuaires, deux d'entre elles ont été utilisées dans le cadre du projet de recherche, soit le système laser de cartographie numérique (*Laser Digital Terrain Mapping* [LDTM]) de Pavemetrics (réf. 2) et le ScanStation P30 de Leica (réf. 3). Ces deux systèmes comportent des composants et des modes de fonctionnement différents.

Le système LDTM est basé sur l'utilisation de capteurs laser à haut rendement montés sur un véhicule d'auscultation des chaussées (figure 2) pouvant circuler à des vitesses allant



jusqu'à 100 km/h. Ce système permet d'acquérir un profil transversal par intervalle de 1 mm parcouru et chacun de ces profils possède une résolution transversale de 1 mm (espacement entre chaque point du profil). De plus, il

Figure 2 – Système LDTM de Pavemetrics

intègre des composants du système mondial de navigation par satellite (*Global Navigation Satellite System* [GNSS]) et des systèmes de mesure inertiels pour compenser les mouvements du véhicule. Sur le plan opérationnel, le système LDTM permet de couvrir une largeur d'environ 4 m, ce qui implique que plusieurs passages sont requis pour couvrir la largeur totale de la piste. Ces données sont par la suite recalées à partir de points communs identifiés automatiquement dans les zones de recouvrement entre chaque passage de l'équipement.

Le ScanStation P30 de Leica (figure 3) est un système de mesure de distance LiDAR (*Light Detection and Ranging*) monté sur un trépied. Ce système de balayage laser permet d'acquérir des nuages de points 3D à haute densité. Sur le plan opérationnel, le système de mesure doit être déployé à plusieurs reprises pour couvrir la surface totale de la piste. Chaque station de mesure permet d'acquérir des données d'au moins 3 mm de résolution à l'intérieur d'un rayon de 50 m. Le recalage des données s'effectue en utilisant les points de contrôle provenant de la position des cibles pour chaque station déployée.



Figure 3 – Système ScanStation P30 de Leica

Les systèmes d'acquisition automatisés LDTM et LiDAR possèdent leurs propres caractéristiques techniques, notamment la densité et la précision des mesures. Ils présentent aussi des particularités et des contraintes opérationnelles pour

l'auscultation des chaussées aéroportuaires. Par exemple, il est possible de prendre des mesures en périodes hivernales avec le LiDAR jusqu'à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, alors que la température minimale d'opération est de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le LDTM. Le LiDAR est un équipement portatif qui peut être facilement utilisé sur les pistes non accessibles par la route, contrairement au LDTM, avec lequel un montage des pièces sur place serait requis pour opérer le système.

Également, le rendement de l'équipement LiDAR se traduit par des relevés quatre à cinq fois plus longs à réaliser que ceux avec le LDTM. À titre de référence, les relevés avec le SurPRO sont environ deux fois plus rapides à réaliser que ceux avec le LiDAR. Cependant, les relevés SurPRO représentent seulement trois profils longitudinaux d'une piste aéroportuaire, alors que le LiDAR permet la couverture totale de la surface.

Les deux technologies automatisées ont été déployées sur une piste aéroportuaire du MTQ afin d'acquérir des données sur la surface de la piste. L'arpentage de la piste par station totale a été effectué au préalable dans le but de minimiser l'accumulation des erreurs de mesure et de comparer les données résultantes entre elles. Ainsi, les données acquises par les systèmes automatisés pouvaient être recalées avec les coordonnées géodésiques. Un exemple de nuages de points issus des technologies LDTM et LiDAR est présenté à la figure 4.

SYSTÈME BBI-DGLC POUR L'ANALYSE DES PROFILS LONGITUDINAUX

Le système BBI-DGLC a été développé par la Direction des équipements scientifiques et des systèmes de transport intelligents – Infrastructures (DESSTI-I) du MTQ afin d'analyser automatiquement les irrégularités de la surface en respect des critères de l'OACI et de la FAA. Ce système permet le traitement des données du SurPRO. Les données provenant d'autres équipements peuvent aussi être utilisées pour autant que les élévations du profil longitudinal soient fournies selon un intervalle de 25 mm de longueur. La figure 5 donne un exemple de présentation des résultats obtenus avec le système pour un profil longitudinal.

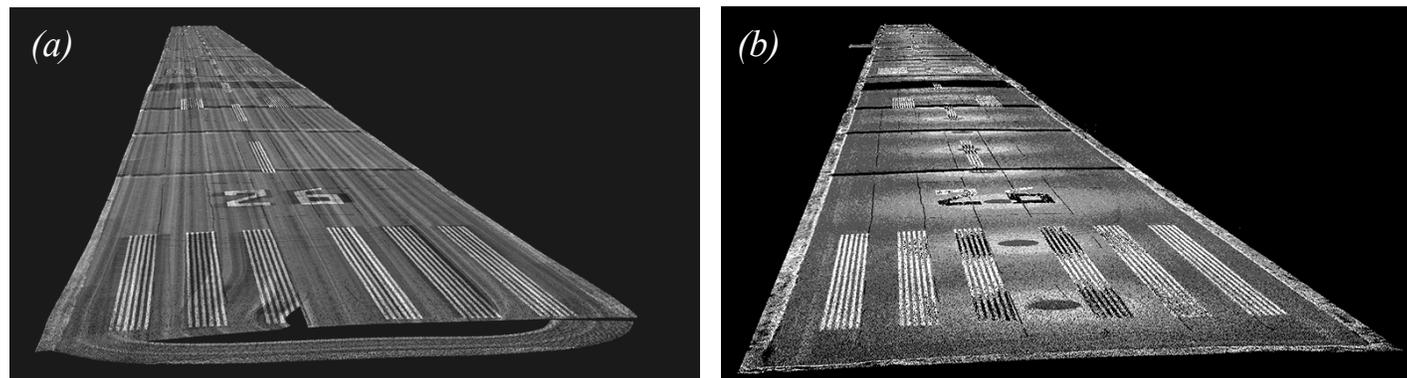


Figure 4 – Vue d'ensemble du nuage de points de chacun des systèmes : (a) système LDTM et (b) système ScanStation P30

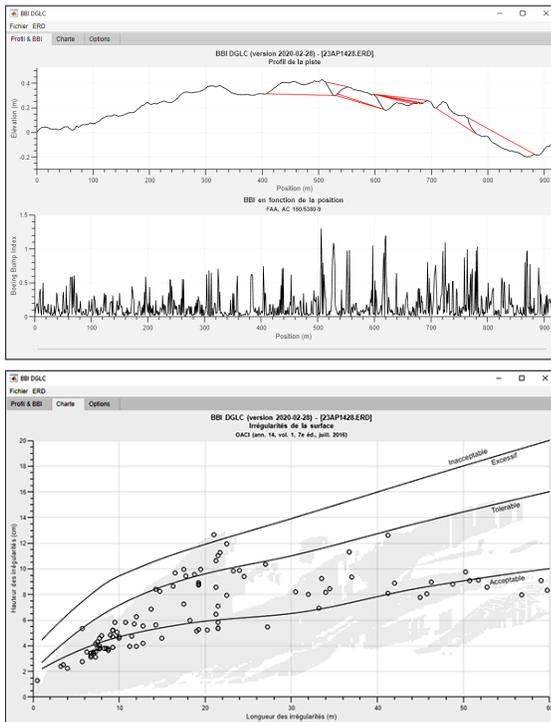


Figure 5 – Exemple de présentation des résultats avec le système BBI-DGLC

COMPARAISON DES PROFILS LONGITUDINAUX

Le système BBI-DGLC a été utilisé pour comparer les profils longitudinaux obtenus à l'aide des trois technologies. Les valeurs de BBI ont été retenues comme critère de comparaison. La comparaison a été réalisée à partir de relevés sur une piste de MTQ dont la chaussée est revêtue d'enrobé et sur laquelle des irrégularités de surface sont présentes.

Afin de comparer les trois équipements, des profils de nuages de points LDTM et LiDAR ont été extraits pour les comparer avec les profils longitudinaux mesurés par le SurPRO. Les profils du centre de la piste extraits de chaque équipement sont montrés à la figure 6.

Le profil du SurPRO est décalé des deux autres profils, puisque les mesures ne sont pas géoréférencées, contrairement au LDTM et au LiDAR. Également, la précision des élévations mesurées avec le SurPRO est de ± 2 mm par 50 m selon le fabricant. En imposant des élévations connues aux deux extrémités du profil SurPRO, un nouveau profil très similaire à ceux issus des deux autres équipements est obtenu (figure 7). Il est à noter que la différence du profil du SurPRO à la position de 700 m est due à des travaux localisés réalisés sur la piste entre les prises de données.

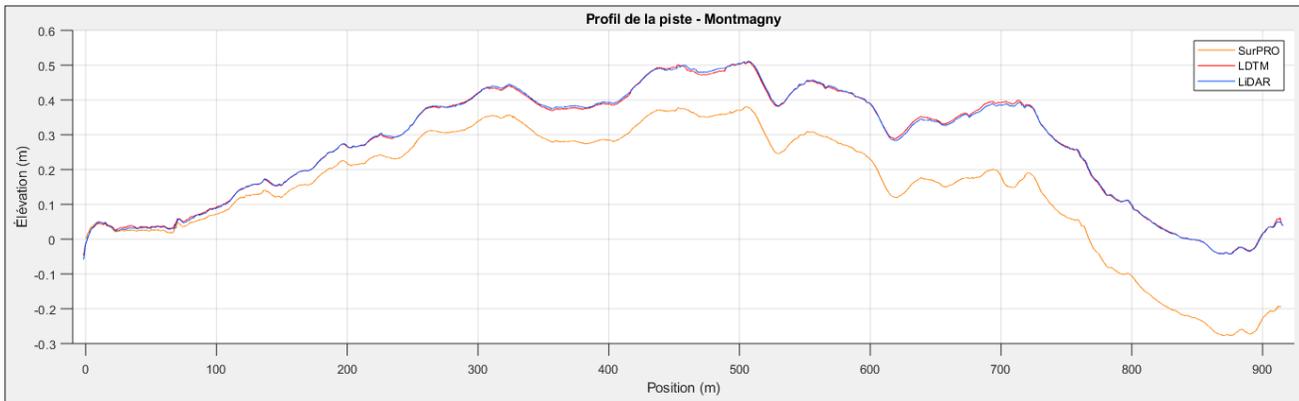


Figure 6 – Profils longitudinaux au centre de la piste des trois équipements

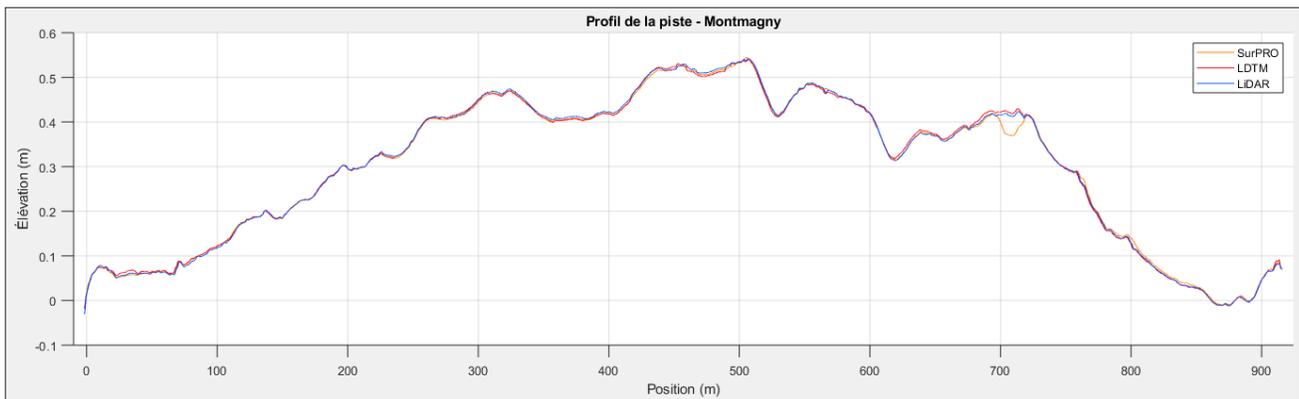


Figure 7 – Profils des trois équipements après la correction des élévations du SurPRO

En effectuant l'analyse à l'aide du système développé, les résultats indiquent des valeurs de BBI très similaires pour les trois profils (figure 8).

Il n'est pas nécessaire de géoréférencer les données du SurPRO pour obtenir des valeurs conformes de BBI. En effet, une comparaison entre les profils corrigé et non corrigé du SurPRO a été réalisée et les valeurs de BBI sont identiques (figure 9).

CONCLUSION

Cette analyse a permis de valider que les systèmes automatisés LDTM et LiDAR sont des équipements offrant une précision équivalente au SurPRO pour la mesure de la planéité des pistes conformément aux critères en vigueur. La principale différence entre ces équipements est que l'analyse des données du SurPRO est limitée aux profils relevés, alors que les deux autres

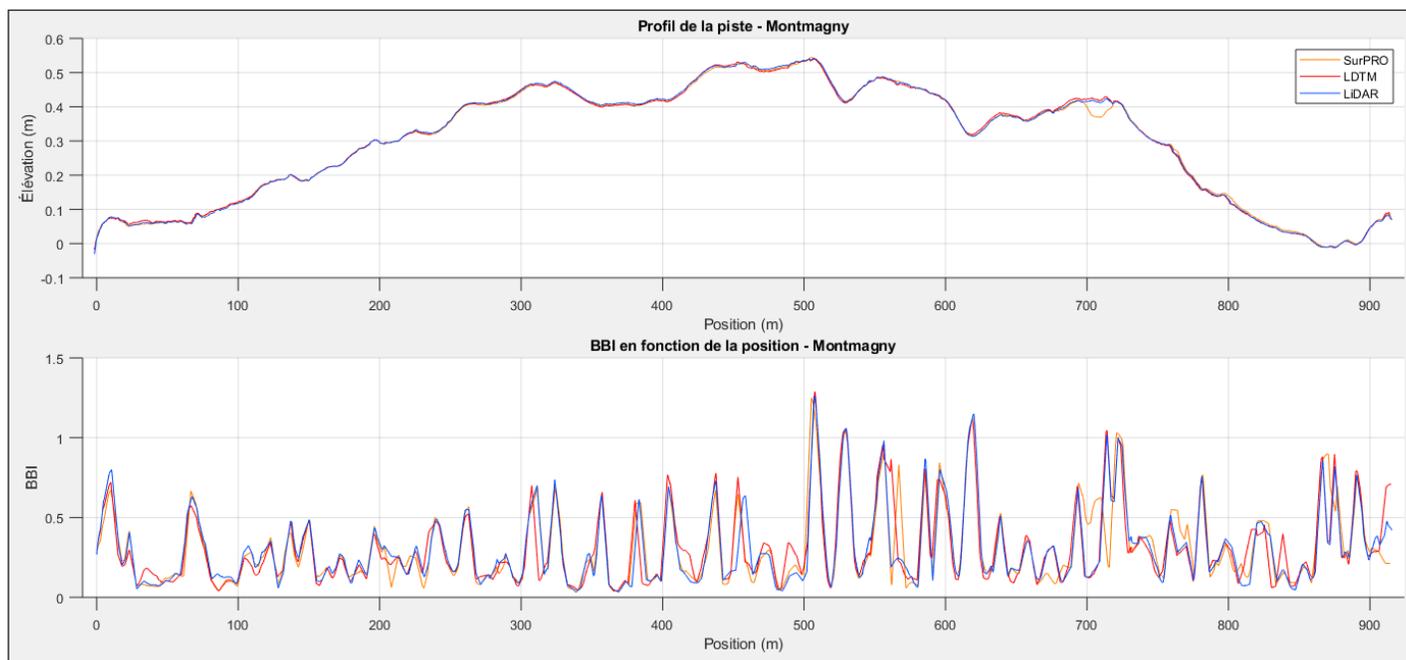


Figure 8 – Résultats de BBI des profils pour le SurPRO, le LDTM et le LiDAR

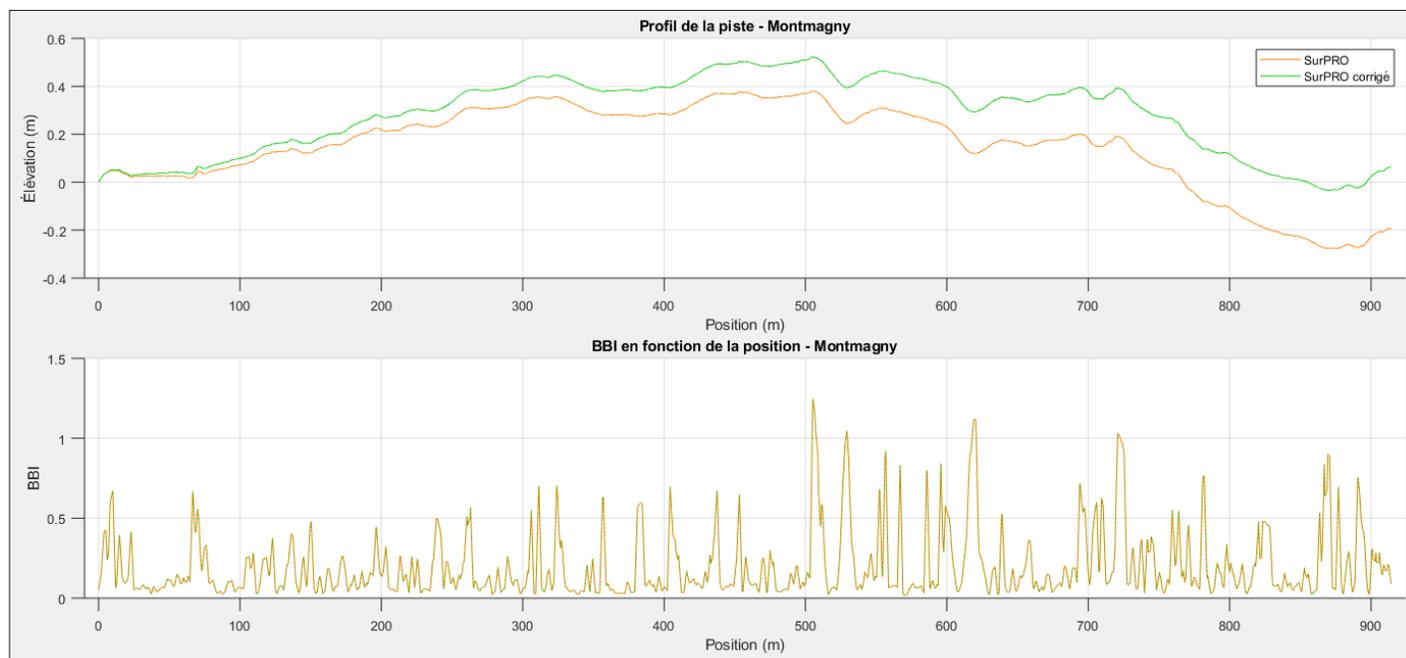


Figure 9 – Résultats de BBI des profils SurPRO corrigé et non corrigé

équipements permettent une analyse couvrant toute la surface de la piste. De plus, pour un défaut donné, le SurPRO offre une vision 2D et localisée à l'endroit relevé, tandis que les deux autres technologies permettent de visualiser le défaut en 3D, ce qui facilite la planification d'une intervention corrective.

Les données acquises à partir des systèmes automatisés offrent le potentiel de mesurer d'autres caractéristiques de surface des pistes aéroportuaires comme la fissuration, l'orniérage et les dépressions et constituent des avenues intéressantes pour la gestion des infrastructures aéroportuaires.

RÉFÉRENCES

1. <https://www.internationalcybernetics.com/surpro/>
2. <http://www.pavemetrics.com/fr/applications-fr/cartographie-digitale-de-terrain/ldtm-fr/>
3. <https://leica-geosystems.com/fr-fr/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30>

RESPONSABLES : Francis Plamondon, ing.
Direction des équipements scientifiques
et des STI – Infrastructures

Isodora Hébert, ing., M. Sc.
Direction des chaussées

Michel Robert, ing., M. Sc.
Direction des équipements scientifiques
et des STI – Infrastructures

DIRECTEUR GÉNÉRAL : Yvon Villeneuve, ing.
Direction générale
du laboratoire des chaussées