

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 106 (2008)

**Heft:** 9

**Artikel:** Vers une analyse de qualité des données de laser aéroporté en temps  
réel

**Autor:** Schaer, P. / Skaloud, J. / Tomé, P.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-236536>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Vers une analyse de qualité des données de laser aéroporté en temps réel

Un des problèmes majeurs des systèmes laser aéroportés (ALS) est l'estimation fiable de la qualité des données en vol ou immédiatement après. Cet article présente un outil qui permet d'estimer la qualité et l'intégrité des données saisies en temps réel (TR). Cet outil inclut l'intégration des données provenant du GPS et d'une centrale inertielle (IMU), ainsi que le géoréférencement des points laser en vol. L'affichage en TR des limites du scan permet d'observer le progrès de la saisie. Après chaque ligne de vol une analyse de qualité du nuage de points est disponible. Notre article décrit la stratégie adoptée pour le traitement et la visualisation des données en vol. Nous présentons aussi les résultats des premiers tests réalisés dans le cadre de projets de cartographie aéroportée.

*Eines der Hauptprobleme der luftgestützten Lasersysteme (ALS) ist die zuverlässige Abschätzung der Datenqualität während des Fluges oder unmittelbar danach. In diesem Artikel wird ein Werkzeug beschrieben, das erlaubt, die Qualität und Integrität der in Echtzeit erfassten Daten abzuschätzen. Dieses Werkzeug schliesst die Integration der vom GPS und einer Zentrale kommenden Daten und die Georeferenzierung der Laserpunkte während des Fluges ein. Die Anzeige in Echtzeit der Scanbegrenzung ermöglicht, den Verlauf der Datenerfassung zu beobachten. Nach jeder Fluglinie ist eine Qualitätsanalyse der Punkteschar verfügbar. Unser Artikel beschreibt die angewandte Strategie der Bearbeitung und Darstellung der Daten während des Fluges. Wir stellen auch die Resultate der ersten der im Rahmen von luftgestützten Kartografieprojekten durchgeführten Tests vor.*

Uno dei principali problemi dei sistemi laser aeroportuali (ALS) risiede nella stima affidabile della qualità dei dati in volo o subito dopo il volo. Nell'articolo si presenta un strumento che permette di valutare la qualità e l'integrità dei dati raccolti in tempo reale. Questo strumento include l'integrazione dei dati provenienti dal GPS e da una centrale inerziale (IMU) e il georeferenzamento dei punti laser in volo. La visualizzazione in tempo reale dei limiti dello scanner consentono di osservare l'avanzamento del rilevamento. Dopo ogni linea di volo si ha disposizione un'analisi della qualità dell'insieme dei punti. L'articolo descrive la strategia adottata per la gestione e la visualizzazione dei dati in volo. Vengono pure presentati i risultati dei primi test nell'ambito dei progetti di cartografia aerea.

*P. Schaer, J. Skaloud, P. Tomé*

## Introduction

Bien que la technologie ALS soit largement utilisée dans l'acquisition des données spatiales, il n'est pas rare que des usagers de tels systèmes rencontrent des problèmes graves à cause de comportements défectueux des capteurs, de la qualité variable des données ou de couvertu-

re déficiente des données saisies. Souvent ces problèmes sont détectés en post-traitement, longtemps après le vol. Pire, quelques erreurs peuvent être quantifiées uniquement par des mesures indépendantes et terrestres. Ainsi, le contrôle de qualité peut prendre une partie écrasante des coûts totaux d'un tel projet. En plus, la nécessité d'une étape de contrôle après le vol allonge le temps entre la saisie des données et la livraison du produit final au client.

Pour éviter ces problèmes, les données doivent être traitées le plus rapidement possible (si possible en vol) à l'aide d'un outil capable de contrôler et d'évaluer la qualité des données (Legat et al., 2006). Le pré-requis pour un tel outil est d'un côté le traitement en TR des données GPS/IMU et le géoréférencement des points laser, et de l'autre côté l'analyse de l'intégrité de la solution de navigation avec l'évaluation de précision de la mesure du laser. La faisabilité de ce concept en post-traitement est prouvée (Latypov, 2002; Schaer et al., 2007), cet article va donc se focaliser sur l'implémentation d'une telle stratégie en TR.

Notre laboratoire (EPFL-TOPO) a participé au développement d'un système novateur appelé «Scan2map» (Skaloud et al., 2006), qui combine Laser (LiDAR), IMU, GPS et une caméra numérique dans un montage fixe. Le système étant suspendu, il peut être utilisé dans des configurations nadir et oblique durant le même vol. Néanmoins, cette grande flexibilité dans la direction de vue comparée à des systèmes ALS classiques (avec installation fixe) nécessite une planification du vol plus précise et la possibilité de surveiller l'exécution du plan de vol pour garantir une couverture complète de la zone à saisir. Ces particularités sont également valables pour d'autres systèmes ALS installés dans un hélicoptère et opérés à basse altitude au-dessus d'un relief accidenté. En conséquence, les fonctionnalités essentielles de notre outil d'analyse doivent être l'affichage en TR du progrès du scan, ainsi que la détection de trous dans les données.

## Architecture générale du système

Analyser la qualité des données «en vol» nécessite l'adoption d'une stratégie particulière pour leur traitement et leur distribution. D'abord il faut s'assurer que les fonctionnalités «vitales», responsables pour la synchronisation et l'acquisition des données, sont indépendantes et ne peuvent pas être dérangées par d'autres modules «additionnels». Pour que le sys-

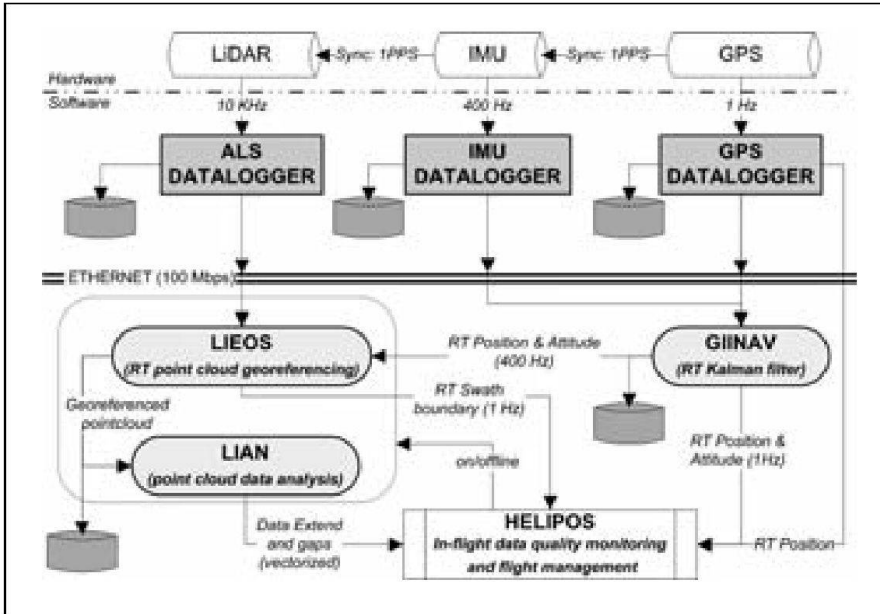


Fig. 1: Architecture modulaire du système d'analyse de qualité en TR.

tème puisse être utilisé avec des taux de scanning différents (c.à.d. capteurs différents), toute l'architecture doit être modulaire, via un réseau de processeurs. Finalement tous les modules doivent être contrôlés et gérés à partir d'une seule application (gestion centralisée).

Comme l'illustre la figure 1, chacun des capteurs LiDAR, IMU et GPS possède son propre module d'acquisition de données. Chaque module se charge de stocker les données et de les transférer (avec un indicateur de statut) via une connexion Ethernet aux clients connectés (Skaloud et al., 2006). Le module de contrôle (appelé HELIPOS) agit comme une instance séparée (normalement sur un autre ordinateur) et se connecte avec tous les modules d'acquisition afin de surveiller le bon déroulement de l'acquisition de toutes les données. Les modules de traitement (GIINAV, LIEOS) et d'analyse (LIAN) de données sont décrits en détail dans les sections suivantes.

### Integration GPS/INS en temps réel (GIINAV)

Le module GIINAV est un navigateur inertielle qui intègre des données GPS/INS en TR par un filtre de Kalman étendu (loose-

ly-coupled Extended Kalman Filter) (Tomé et al., 2000). GIINAV se connecte aux modules IMU et GPS via une interface de communication (socket). Les données inertielles sont traitées à la fréquence de mesure de l'IMU (actuellement à 400 Hz) et les mises à jour du GPS se font à 1 Hz. La partie critique de l'algorithme est liée à l'alignement initial de l'IMU. Ceci est particulièrement difficile pour des vols en hélicoptère. Pour cette raison, le module dispose de trois types d'alignement: statique, transfert (l'orientation initiale est connue à quelques degrés près) et dynamique (en vol). Il est également possible de réinitialiser le système en vol sans imposer de restrictions liées à la dynamique de l'aéronef. Une évaluation détaillée des performances de GIINAV est présentée en section 7.

Géoréférencement en temps réel (LIEOS) Le module LIEOS a deux rôles principaux: d'abord il calcule un nuage de points géoréférencés en TR et ensuite il fournit des analyses spatiales et statistiques. Le module se connecte à GIINAV pour obtenir la solution de navigation (position et orientation) ainsi qu'au laser pour les mesures de distances (fig. 1).

Les algorithmes de géoréférencement implémentés dans LIEOS sont optimisés pour calculer des nuages de points en TR à rai-

son de plusieurs milliers de points par seconde. La charge de calcul peut varier en fonction de la fréquence du scanneur (de 10 KHz à 180 KHz), de la fréquence de la solution de navigation, du système de projection choisi ainsi que du choix de l'algorithme de géoréférencement. Pour garantir une grande flexibilité, en fonction des besoins et de la puissance informatique disponible, trois types d'algorithmes sont implémentés:

- le calcul rapide qui fournit une précision sub-métrique,
- le calcul approximatif qui calcule un nuage de points avec des distorsions résiduelles sub-centimétriques (Legat, 2006; Skaloud and Legat, 2008),
- le calcul rigoureux, qui n'utilise aucune approximation.

### Analyse des données ALS (LIAN)

LIAN est un module intégré dans LIEOS (fig. 1), qui se charge de l'analyse de qualité et d'intégralité des données laser. Les données sont uniquement transférées vers LIAN une fois qu'une ligne de vol est terminée. L'opérateur du système peut, par le biais d'une touche «online/offline» dans HELIPOS (fig. 4), communiquer à LIEOS si le système se trouve:

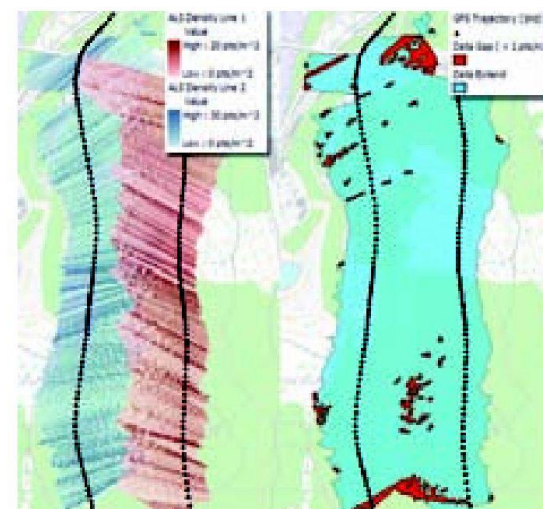


Fig. 2: Gauche: Grille de densité du nuage de points laser pour deux lignes de vol. Droite: Etendue et trous de données vectorisées.

a) *sur une ligne de vol*: les mesures laser sont géoréférencées et stockées en TR et LIEOS communique à HELIPOS les coordonnées des bordures du couloir exploré (swath);

b) *en transfert*: le géoréférencement est arrêté et le nuage de points de la ligne précédente est transféré à LIAN.

Une fois le nuage de points pour une ligne de vol transféré à LIAN, le programme procède au calcul d'une grille de densité des points (fig. 2). Cette information de couverture rasterisée est utilisée pour extraire

- a) l'étendue de la zone scannée (limite extérieure de toutes les lignes vols saisies);
- b) les trous de données, c.à.d. les zones à l'intérieur du périmètre scannée qui n'ont pas été couvertes ou qui disposent d'une densité de points insuffisante.

Les limites vectorisées sont ensuite transférées à HELIPOS, ou l'opérateur peut obtenir un aperçu global du progrès du scan-nage (fig. 4).

## Gestion du vol et contrôle centralisé (HELIPOS)

Le module de contrôle sert comme interface graphique entre l'opérateur et les modules décrits auparavant. Il a deux fonctions principales:

- 1) fournir des outils pour le management du vol et pour le guidage du pilote;



Fig. 3: Configuration standard de HELIPOS dans le cockpit. En bas: vue de l'opérateur, en haut: vue du pilote.

- 2) contrôler les paramètres intrinsèques du système et surveiller la qualité et la couverture de la saisie.

### Management du vol et guidage pour le pilote

Pour le guidage du pilote, HELIPOS offre deux vues interconnectées dans la même application (fig. 3).

- *Vue de l'opérateur*: Toutes les informations disponibles peuvent être affichées (p.ex. lignes de vol, carte numérique, position en TR, couverture laser actuelle et trous dans les données).

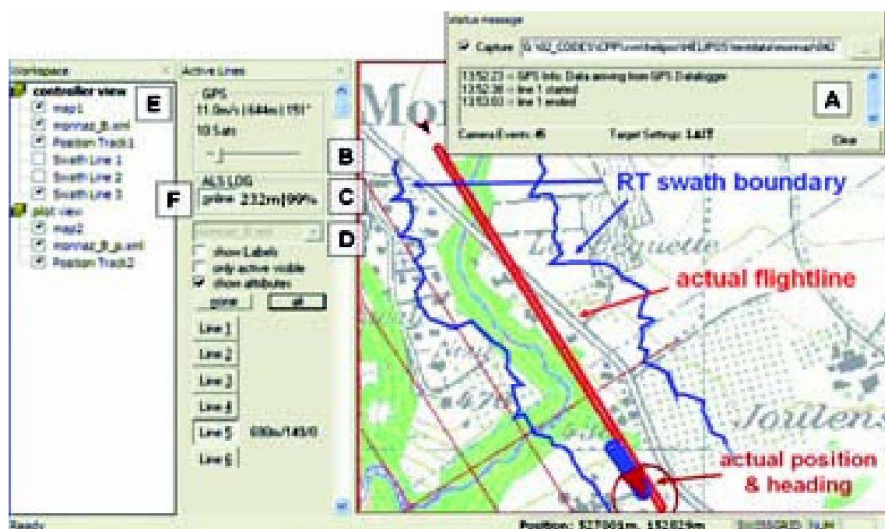


Fig. 4: Aperçu de l'interface graphique de HELIPOS.

- *Vue du pilote*: Uniquement les données indispensables pour le guidage du pilote sont affichées (carte, ligne de vol à saisir, position et attitude actuelles).

### Contrôle de la saisie et visualisation

HELIPOS rassemble toutes les informations nécessaires depuis les différents modules et les transmet à l'opérateur. La figure 4 illustre les fonctionnalités principales de l'interface graphique de HELIPOS:

- A. *Log du statut*: Tous les messages de statuts importants des modules d'acquisition des données (GPS/IMU/ALS) sont protocolés. Ainsi l'opérateur est averti tout de suite en cas de problème lors de l'acquisition et il peut réagir en conséquence.
- B. *GPS/INS info*: Informations actualisées en TR sur la position, la vitesse et le cap ainsi que des indicateurs sur la qualité GPS. Si GINAV est activé, l'opérateur peut accéder aux paramètres d'orientation (roulis, tangage, lacet) du système.
- C. *ALS info*: La distance mesurée par laser, ainsi que le pourcentage du swath peuvent être affichés.
- D. *Management du plan du vol*: Différents plans et lignes de vols peuvent être chargés et activés.
- E. *Contrôle des couches*: Un menu de contrôle permet d'afficher ou de désactiver les couches d'informations souhaitées.
- F. *Touche online/offline*: Pour commuter entre les états «en vol» (géoréférencement en TR, affichage de bordures du swath) et «en transfert» (analyse de couverture).

## Discussion des résultats

Le logiciel HELIPOS a été testé lors de plusieurs vols commerciaux entre janvier et avril 2008. Dans cette section, nous présenterons quelques résultats en comparant les solutions TR obtenues en utilisant nos modules et les solutions de référence obtenues en post-traitement au moyen des logiciels commerciaux.

Trajectoire

La figure 5 montre la différence de trajectoire entre la solution en TR (GPS Code et intégration GPS/INS via GIINAV) et la solution post-traitée (GPS Phase avec GrafNav, intégration GPS/INS avec Applanix PosProc) pour un vol avec le système scan2map. La figure no 5 démontre que les différences pour le roulis et pour le tangage sont négligeables (roll /pitch: RMS < 0.05°, yaw: RMS < 0.1°) et très proches de la précision de mesure de la centrale inertielle utilisée. Par contre, la différence en position est plus importante (RMS planimétrie > 1.5m, RMS altimétrie > 4m), mais elle correspond à la précision de la solution GPS en TR et en mode absolu, sans recourir aux technologies différentielles DGPS (code) ou RTK (phase).

Nuage de points

Les histogrammes de la figure 6 indiquent la différence entre le nuage de points calculé en post-traitement et celui utilisant LIEOS en vol. Sachant que des erreurs de position se propagent directement dans la coordonnée finale du point laser (Landtwin, 2005), il n'est pas étonnant de retrouver des erreurs du même ordre de grandeur pour les coordonnées de points laser que pour la position en TR. La hauteur du vol pour cette mission se situant à environ 250 m, les erreurs dans l'orientation n'ont que très peu d'impact sur la qualité du géoréférencement (im-

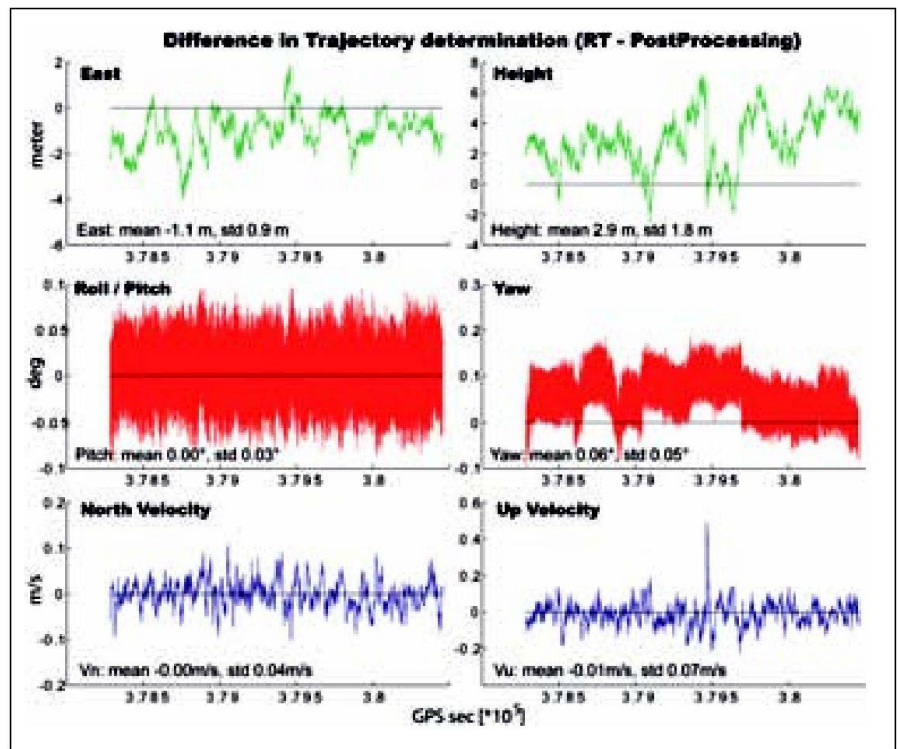


Fig. 5: Différence de trajectoire entre solution TR et solution post-traitement.

pact d'une faute en roulis/tangage de 0.05° à 250 m ≈ 0.2 m).

Conclusions et perspectives

Dans ce travail nous avons développé et testé un outil capable d'effectuer la majeure partie des analyses de qualité des données laser directement en vol. Ainsi, l'opérateur peut vérifier en tout temps si

les données saisies satisfont les exigences du projet en question. Ces informations sont cruciales pour garantir le bon déroulement des missions de scannage aéroporté à partir d'un hélicoptère.

Nous avons présenté une architecture modulaire où les modules liés à l'acquisition des données sont tributaires d'un capteur spécifique tandis que les modules de traitement et d'analyse ne le sont pas. En principe, le système proposé pourrait être utilisé pour d'autres systèmes ALS. La performance du système est extensible et peut s'adapter à des fréquences d'acquisition très différentes.

Des tests en vol étaient limités à l'utilisation des données GPS en code uniquement (point-positioning mode), donnant une précision métrique du nuage de points en TR. Néanmoins cette précision s'est avérée largement suffisante pour contrôler la couverture et l'homogénéité des données laser pendant le vol.

La qualité des données GPS brutes ne peut pas être suivie uniquement par le biais d'une intégration GPS/INS. Nous prévoyons d'inclure plusieurs technologies tels que SBAS, RAIM et RTK dans notre

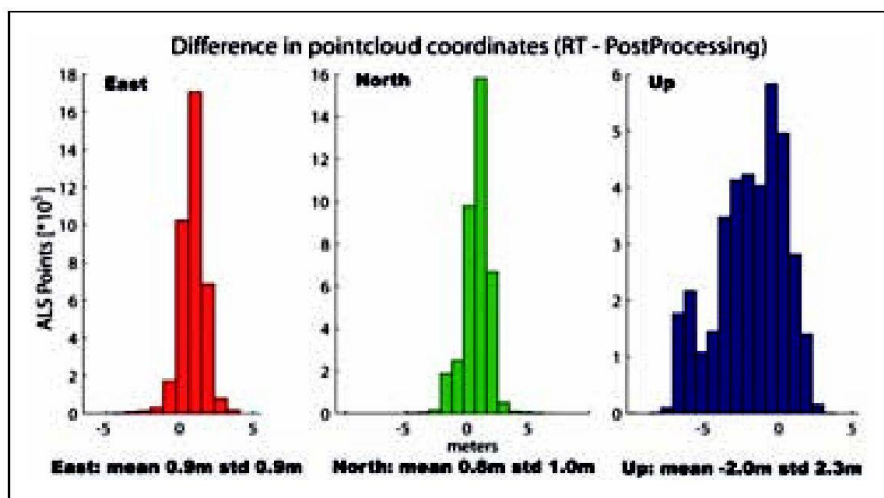


Fig. 6: Différence des coordonnées du même nuage de points calculé en TR et en post-traitement.

analyse (Skaloud, 2006), permettant de contrôler partiellement ou complètement l'intégrité de la solution GPS avant de passer au post-traitement. Cette information sera nécessaire pour l'analyse complète de la qualité en TR telle que proposée par (Schaer et al., 2007) pour le post-traitement.

## Remerciements

Ce travail a été financé en majeure partie par la Commission Suisse pour la Technologie et l'Innovation (CTI/KTI Project 7782.1 EPRP) en collaboration avec swissphoto SA.

## Références:

Landtwin, S., 2005. Airborne Laser Scanning: Genauigkeitsinformationen für den Auswertungsprozess, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich, 83 p.

Latypov, D., 2002. Estimating relative lidar accuracy from overlapping flightlines. ISPRS Jour-

nal for Photogrammetry and Remote Sensing, 56(4): pp. 236–245.

Legat, K., 2006. Approximate direct georeferencing in national coordinates. ISPRS Journal of Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, 60: 239–255.

Legat, K., Skaloud, J. and Schaer, P., 2006. Real-time processing of GPS/INS data for on-the-fly quality control in airborne mobile mapping, European Navigation Congress ENC-GNNS, Manchester.

Schaer, P., Skaloud, J., Landtwin, S. and Legat, K., 2007. Accuracy Estimation for Laser Point Cloud including Scanning Geometry, 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT2007), Padua, Italy.

Skaloud, J., 2006. Reliability of Direct Georeferencing Phase 1: An Overview of the Current Approaches and Possibilities, Checking and Improving of Digital Terrain Models / Reliability of Direct Georeferencing EuroSDR Official Publication 51.

Skaloud, J. and Legat, K., 2008. Theory and reality of direct georeferencing in national co-

ordinates. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing., 63: 272–282.

Skaloud, J., Vallet, J., Veysiere, G. and Koelbl, O., 2006. An Eye for Landscape – Rapid Aerial Mapping with Handheld Sensors. GPS World(May): 7.

Tome, P., Cunha, T., Cunha, S. and Bastos, L., 2000. Evaluation of a DGPS/IMU Integrated Navigation System, ION GPS, Salt Lake City, UT, pp. 2233–2242.

Philipp Schaer  
Jan Skaloud  
TOPO Lab  
Ecole Polytechnique Fédérale  
Station 18  
CH-1015 Lausanne  
philipp.schaer@epfl.ch

P. Tomé  
Nemerix AG  
Stabile Gerre 2000  
CH-6928 Manno

# La compétence en précision!



## Votre partenaire TOPCON en suisse.

- Technologie-G3 d'avenir pour haute précision des mensuration par satellite.
- le guidage d'engins automatique en 2D et 3D. Les modèles numériques de terrain constituent la base pour l'utilisation efficace des matériaux et l'aplanissement.
- Les systèmes de TOPCON sont les garants d'un succès durable.

**FIELDWORK**  
Maschinenkontroll- und Vermessungssysteme AG  
IHR **TOPCON** PARTNER IN DER SCHWEIZ

CH-9320 Arbon  
Weitegasse 6  
Telefon +41 71 440 42 63  
Telefax +41 71 440 42 67  
www.fieldwork.ch  
info@fieldwork.ch