

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: 108 (2010)

Heft: 9

Artikel: Relevé routier à très haute résolution par système LiDAR-
Photogrammétrie hélicoptère

Autor: Vallet, Julien

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236703>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.01.2026

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

Relevé routier à très haute résolution par système LiDAR-Photogrammétrie hélicoptéré

L'utilisation du LiDAR/photogrammétrie aéroporté est désormais bien intégrée dans la panoplie des techniques de mensuration. Selon l'altitude de vol, cette technique offre une précision de mesure de ~5–10 cm à 30–40 cm. Le secteur de la haute précision (< 5 cm) n'est pas encore usuel pour le LiDAR aéroporté et il était intéressant d'analyser le potentiel de la méthode dans cette gamme de mesure. Dans le cadre de la rénovation des autoroutes (UPlaNS), la technique d'acquisition hélicoptérée pour Helimap System® a été utilisée en vol basse altitude (<100 m) afin de produire un modèle numérique de terrain de haute densité (>10 pt/m²) et une orthophoto de haute résolution (pixel de 2 cm) de la chaussée et des environs de l'autoroute. Grâce à l'implantation d'une série de points de calage au sol, MNT LiDAR, images et orthophoto ont pu être extraits avec une précision (1 σ) de ~3 cm en altimétrie et ~2 cm en planimétrie sur la chaussée. Un second relevé effectué récemment avec un nouveau LiDAR dernière génération laisse entrevoir une amélioration significative sur la précision.

Die Verwendung der luftgestützten LiDAR-Photogrammetrie gehört in die Reihe der etablierten Vermessungstechniken. Je nach Flughöhe bietet diese Technik eine Messgenauigkeit von ~5–10 bis 30–40 cm. Der Bereich der Hochpräzision (< 5 cm) ist für luftgestützten LiDAR noch nicht üblich und so war es interessant, das Potenzial der Methode in diesem Messbereich zu analysieren. Im Rahmen des Unterhalts der Autobahnen (UPlaNS) wurde die helikoptergestützte Aufnahmetechnik Helimap System® im Tiefflug verwendet (< 100 m), um ein digitales Geländemodell von hoher Dichte (>10 Pkt./m²) sowie eine hochauflösende Orthophoto (Pixel von 2 cm) der Fahrbahn und der Umgebung der Autobahn herzustellen. Dank dem Anbringen einer Serie von Passpunkten am Boden erhielt man DHM LiDAR, Bilder und Orthophoto mit einer Genauigkeit (1 σ) von ~3 cm in der Höhe und ~2 cm in der Lage. Eine kürzlich mit einem LiDAR der neuesten Generation gemachte zweite Aufnahme lässt eine beachtliche Verbesserung der Genauigkeit voraussehen.

L'utilizzazione del LiDAR/fotogrammetria aerea è ben integrata nella gamma delle tecniche di misurazione. In base all'altezza di volo, questa tecnica offre una precisione di misura da ~5–10 cm a 30–40 cm. L'ambito di alta precisione (< 5 cm) non è ancora consueto per il LiDAR aereo ed è stato interessante analizzare la potenzialità del metodo in questa gamma di misura. Nel quadro della ristrutturazione delle autostrade (UPlaNS), si sono impiegate la tecnica di acquisizione elioportata Helimap System® nel volo a bassa altitudine (< 100 m) per riprodurre un modello digitale di terreno ad alta densità (> 10 pt/m²) e una ortofoto ad alta risoluzione (pixel di 2 cm) della carreggiata e dell'ambito circostante l'autostrada. Grazie all'inserimento di una serie di punti di calettamento al suolo è stato possibile estrarre MNT LiDAR, immagini e ortofoto con una precisione (1 σ) di ~3 cm in altimetria e di ~2 cm in planimetria sulla carreggiata. Un secondo rilevamento effettuato di recente con un nuovo LiDAR dell'ultima generazione fa intravedere un notevole miglioramento a livello di precisione.

J. Vallet

1. Introduction

Depuis 10 ans, les technologies LiDAR (Light Detection And Ranging) et d'imagerie numérique ont considérablement changé le monde de la cartographie de précision. Que ce soit en mode statique ou dynamique (aéroporté ou terrestre), les nuages de millions de points et les images à très haute résolution (quelques cm) ont peu à peu envahi le marché de la mesure tridimensionnelle de l'environnement naturel et construit. Le secteur des infrastructures (route, rail, électricité,...) est un des bénéficiaires de ces nouvelles techniques d'acquisition.

Elles permettent d'acquérir avec une précision décimétrique des données numérique 3D, non seulement du terrain, mais également de tout objet tels que bâtiments, végétation, câbles, panneaux... De quelques points par mètre carré il y a encore 5 ans, les LiDAR actuels permettent d'atteindre des densités de plusieurs centaines de points par mètre carré. Parallèlement, la course aux mégapixels des caméras numériques permet désormais de produire des orthophotos avec des résolutions de 5 cm ou moins.

Le secteur routier est de plus en plus demandeur de ce type de données, car elles offrent une polyvalence pour de nombreuses applications: SIG routier, géométrie de base pour les aménagements, planifications, rénovations. L'acquisition dynamique permet de travailler sur route ouverte, avantage incontestable pour les réseaux autoroutiers. Deux variantes dynamiques sont présentes: LiDAR embarqué sur un véhicule terrestre, et LiDAR aéroporté.

Dans les deux cas, la précision absolue est liée à celle du système de positionnement GPS-INS en mode cinématique, ce qui permet difficilement de descendre en dessous des 5 cm (1 sigma). La précision relative, ou bruit interne du nuage de points, va dépendre du type de LiDAR employé. Dans le cas du mode terrestre, la précision de mesure de distance des LiDAR est en général inférieure au centi-

mètre, alors qu'elle est de 2–3 cm pour les LiDAR aériens. Ces valeurs de précisions sont données pour une incidence perpendiculaire à la surface de réflexion. Lorsque l'incidence du rayon est oblique, la précision de la mesure de distance se dégrade proportionnellement à la distance combinée à la divergence du faisceau laser et à la réflectivité variable au sein de l'empreinte du faisceau [1].

Dans le cadre du plan de rénovation des autoroutes (UPlaNS), l'office fédéral des routes a requis un état initial de l'empreinte de l'autoroute pour planifier les actions à entreprendre. Les exigences en termes de géométrie de la chaussée étaient fixées à une précision planimétrique relative (entre 2 points) de 2 cm (1 sigma), une précision altimétrique relative de 3 cm (1 sigma) et une précision altimétrique absolue < 5 cm (1 sigma).

C'est dans ce contexte qu'une évaluation de l'acquisition héliportée de haute précision (< 5 cm) a été entreprise sur deux tronçons autoroutiers de l'A9 afin d'estimer le potentiel de la méthode en termes de précision absolue et relative des points LiDAR (notamment sur la chaussée) et des produits photogrammétriques (orthophotos et stéréorestitution d'objets).

2. Moyens et techniques mis en œuvre

Obtenir une précision de cartographie inférieure ou égale à 10 cm par technique héliportée est un objectif désormais atteint par la plupart des systèmes d'acquisition à basse altitude (< 350 m sur sol). En revanche, passer en dessous du seuil des 5 cm demande des efforts importants et une mise en œuvre particulière.

2.1 Choix du matériel

Les deux relevés ont été effectués avec des équipements de différentes générations:

- pour le premier, le système Helimap System® I composé d'un scanner Riegl LMS-Q240i avec une cadence de mesure de 10 000 points/sec et une divergence de faisceau de 2.7 mrad, d'une caméra Hasselblad H1D de 22 Mpix (9 μ m le

pixel), focale de 35 mm, et d'une unité inertielle iMAR de type tactique (HSI) [2].

- pour le second, un système dernière génération Helimap System® II intégrant un scanner Riegl VQ-480 avec une cadence de mesure de 25 000 à 150 000 points/sec et une divergence de faisceau de 0.3 mrad, une caméra Hasselblad H4D de 50 Mpix (6 μ m le pixel), focale de 35 mm, et d'une unité inertielle iMAR de type tactique (HSII).

2.2 Méthode employée

La méthode utilisée se base sur un survol à très basse altitude (80 à 100 m sur sol) à l'aplomb de l'axe de l'autoroute, ou des voies, si celles-ci sont séparées ou décalées. A cette distance, la taille du pixel sol est inférieure à 2 cm (échelle de 1:2500) et la densité de points de ~12 point/m² pour le système 1, et de ~80 point/m² pour le système 2. Le tableau 1 résume les paramètres de vol.

La précision du positionnement du capteur étant astreinte à la précision de la trajectoire GPS-INS (~6 cm par composante), il convient d'utiliser des points de calage au sol afin de recalibrer le nuage et les images. Deux points de calage sur des surfaces planes et lisses ont été disposés tous les 400–500 m le long de l'autoroute. Ces points ont été mesurés par GPS statique pour garantir une précision inférieure à 2 cm en altimétrie.

Le survol a été planifié de manière à avoir les constellations GNSS optimales (nombre de satellites et indicateur DOP)

durant tout le vol. Les stations de bases servant de référence pour le vol ont été placées de manière à avoir des bases – maximales de ~15 km. La différence d'altitude entre les stations de bases et l'hélicoptère a été minimisée à ~300 m pour réduire au maximum les effets troposphériques.

Tout le géoréférencement des données a été effectué dans le référentiel CHTRF95, puis les données ont été ensuite calculées dans le système de coordonnées LV95, système altimétrique NF02 (Reframe).

2.3 Traitement et données produites

Les images ont fait l'objet d'une aérotriangulation en utilisant les paramètres d'orientation directe (GPS-INS) combiné avec les points d'ajustage. Un réétalonnage de la focale et du point principal de la caméra a été effectué sur une zone de calibration le même jour.

Une stéréorestitution des structures linéaires (bords de murs et ponts) a été faite, puis combinée au nuage de points. A partir de là, une orthophoto avec un pixel de 2 cm a été calculée pour servir de base à la mesure planimétrique des éléments de la chaussée (largeur de voie, bande d'arrêt d'urgence, fissures, joints...).

Le nuage de points a fait l'objet d'une classification minutieuse du sol, puis un lissage a été appliqué sur les chaussées afin d'éliminer le bruit. Enfin, le nuage a été recalé altimétriquement sur les points d'ajustage selon une procédure similaire à une correction de géoïde.

	Vol HSI	Vol HSII
Altitude de vol [m]	80	100
Taille moyenne du pixel [cm]	2	1.8
Fréquence de scan [pt/sec]	10 000	75 000
Densité de point [pt/m ²]	~12	~80
Empreinte du faisceau au nadir [m]	~0.22	~0.03
Vitesse de vol [m/s]	10	10
Recouvrement [%]	60-70	60-70
Sigma Z photo théorique [cm]	2	2
Linéaire couvert [km]	40	35
Nombre d'image au km	~30	~25

Tab. 1: Récapitulatif des caractéristiques techniques de vol.

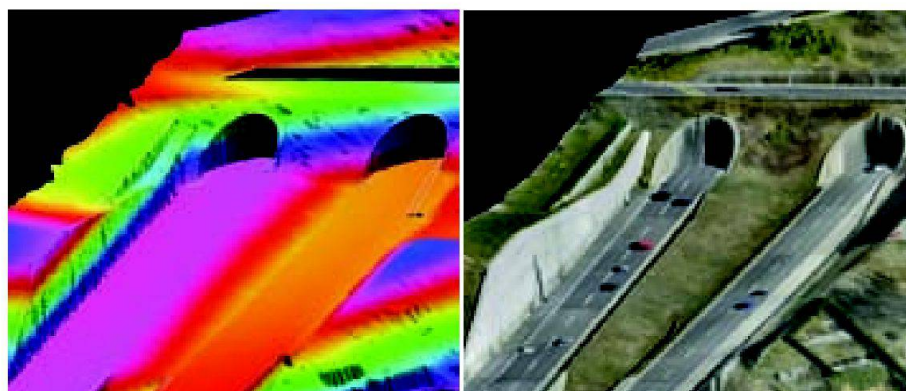


Fig. 1: MNT et lignes de rupture à gauche et Orthophoto drapée sur le MNT à droite sur l'A9 entre Vennes et Chexbres (données HSI).

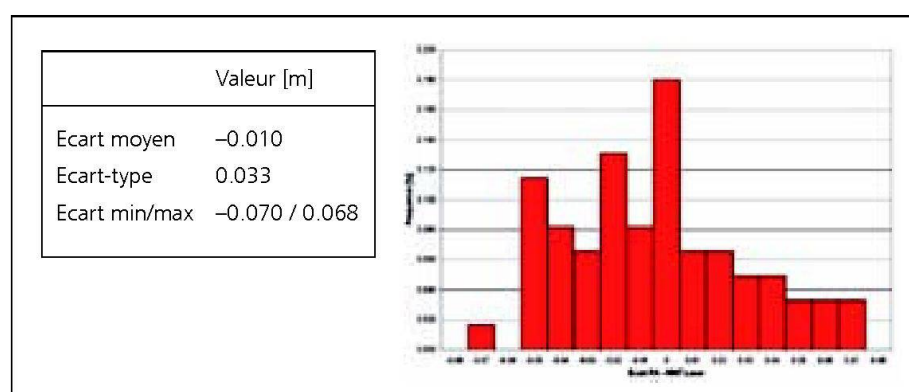


Fig. 2: Distribution en fréquence (%) des écarts altimétriques entre MNT laser lissé et points d'ajustage (sur 61 points).

Au final, un modèle numérique de terrain (MNT) haute densité, les lignes de rupture des éléments construits et l'orthophoto haute résolution ont été fournis (fig.1).

3. Résultats et analyses

Le traitement des données du deuxième vol étant en cours (HSII), les analyses n'ont pas encore pu être effectuées entièrement. Les résultats du premier vol (HSI) sont présentés ci-dessous.

3.1 Précision du nuage de point

Une fois le nuage de point filtré et le sol extrait, un lissage des chaussées a été effectué (tolérance de ± 1.5 cm). Les résultats de la comparaison altimétrique entre les points d'ajustage (PA) de la chaussée (61 points) et le MNT laser fournit les résultats figurent dans la figure 2.

La précision (1σ) altimétrique absolue du MNT LiDAR est donc inférieure au 5cm

fixé. Elle est de 3.5 cm, ce qui correspond à la précision de mesure de distance du laser (3cm pour HSI). Le recalage du MNT sur les PA permet de réduire ces écarts au niveau des points même. Il aurait fallu avoir des points de contrôle intermédiaires pour valider l'effet du recalage. C'est ce qui est prévu sur le second vol en cours de traitement.

	AT avec PA			AT-IMU avec point de contrôles indépendants		
0 [m]	2.52			2.50		
	X	Y	Z	X	Y	Z
RMS des résidus aux PA [m]	0.011	0.009	0.010	0.031	0.043	0.037
Ecart max. [m]	0.042	0.024	0.028	0.07	0.08	0.11
Précision de mesure au sol [m]	0.016	0.013	0.022	0.031	0.027	0.046

Tab. 2: Résultats de l'aérottriangulation selon l'utilisation de PA ou non.

3.2 Précision photogrammétrique

Il est intéressant de comparer l'apport des points d'ajustage dans le géoréférencement des images. Le calcul de compensation a d'abord été lancé avec les points au sol comme contrôle indépendant (avec GPS-INS), puis comme point d'ajustage (PA), puis les coordonnées des points de liaison ont été comparées. Les résultats figurent dans le tableau 2.

Le gain avec l'emploi des PA est de 50% sur la valeur de la précision de mesure au sol estimée.

La comparaison des coordonnées aux points de liaison montre également l'effet bénéfique des points d'ajustage sur le géoréférencement par rapport au GPS-INS seul. La figure 3 illustre la différence en X Y et Z des points de liaison. L'écart moyen est nul en planimétrie, mais une composante systématique de -2 cm est présente en altimétrie. Il est également possible de voir une tendance qui évolue au cours du temps (l'axe des abscisses montre les points de liaison selon l'ordre chronologique du vol). Ces oscillations reflètent la précision de la trajectoire qui évolue dans le temps en fonction des constellations GNSS et de la dynamique de vol.

3.3 Précision planimétrique de l'orthophoto

L'orthophoto a été calculée avec une résolution (taille du pixel) de 2 cm. Les écarts entre les points d'ajustage et leur position sur l'orthophoto n'excèdent pas 3.5 cm, pour un écart-type de 1.7 cm. La précision absolue est donc inférieure aux exi-

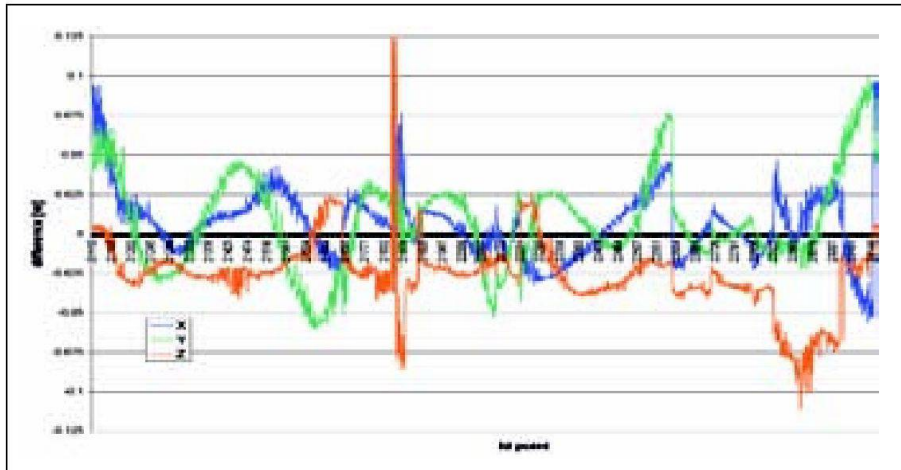


Fig. 3: Ecart des coordonnées X Y et Z des points de liaison entre l'aérotriangulation avec points d'ajustage et orientation GPS-INS et aérotriangulation avec GPS-INS seul.

gences des 3 cm (1σ). La figure 4 illustre un extrait d'orthophoto de la chaussée.

3.4 Résultats préliminaires du vol 2

Etant en cours de traitement, les données du vol 2 sont incomplètes, mais il apparaît déjà certains avantages:

- le lissage semble inutile, car l'empreinte au sol de la tache laser est plus focalisée (d'un facteur 10), et le bruit résiduel sur la mesure de distance est moindre. Le niveau de détail (très petit relief) est donc plus élevé avec HSII (fig. 5). Il semble donc possible de visualiser des zones de tassement sur la chaussée.
- La densité de mesure de 80 point/m²

permet quasiment de s'affranchir de ligne de rupture. En doublant la densité par une cadence plus élevée du LiDAR, cette tâche serait superflue.

4. Conclusion

Le LiDAR aéroporté n'est a priori pas la technique la plus utilisée pour des relevés de très haute précision (< 5 cm) car souvent l'aéronef n'est pas adapté à des vols bas. Il est très intéressant de voir le potentiel de la technique héliportée pour des vols à basse altitude (< 100 m) effectué avec Helimap System®.

Les vols réalisés ont montré qu'il est pos-



Fig. 4: Echantillon d'orthophoto à 100% avec pixel de 2 cm.

sible d'obtenir, grâce à l'emploi de points d'ajustage, un très haut niveau de précision absolue de mesure au sol, de ~3–4 cm avec le LiDAR, et de ~2 cm par photogrammétrie sur des objets bien définis. Les analyses de précision du second vol sont en cours de traitement et semblent encore plus prometteuses avec un nuage moins bruité et une très haute densité. Il aurait été intéressant du point de vue de la précision, de comparer de tels relevés avec un relevé LiDAR terrestre dynamique. En effet, la technique terrestre offre les avantages d'être moins bruitée sur la mesure de distance, et d'avoir des données dans des tunnels et sous les ponts. En revanche, les contraintes par rapport à l'héliporté sont les suivantes: il faut faire un passage par voie, le signal GPS est nettement plus soumis aux obstructions (arbres, murs), il est impossible de faire des orthophotos et la couverture des abords externes de la voie n'est peu ou pas possible. Pour certains types d'applications à haute précision comme la route ou les relevés urbains, les deux techniques semblent être complémentaires.

Références:

- [1] Vosselman G., Maas H-G., Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing, 2010.
- [2] Skaloud J., Vallet J., Keller K., Veyssière G. and Kölbl O., 2006 An Eye for Landscapes – Rapid Aerial Mapping with Handheld Sensors, GPS World, Vol. May 2006, Nr. 17 (5), pp. 26–32, 2006.

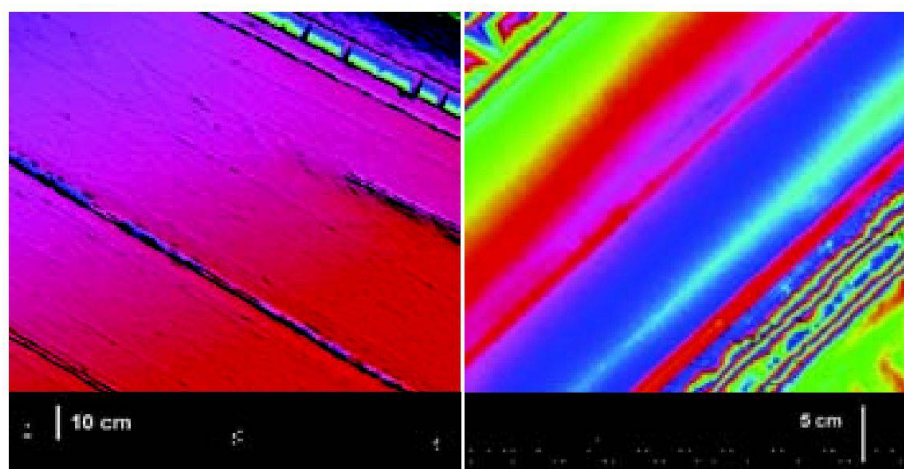


Fig. 5: Bruit de mesure pour chaque type de laser: HSI à gauche et HSII à droite. On voit nettement pour HSI des microreliefs générés par le bruit (3–4 cm) sur le nuage non lissé. L'empreinte du faisceau au niveau sol fait également apparaître du relief sur les bandes de peinture (zébra, lignes axiales). A droite, on peut déceler de probables zones de tassement sur certaines bandes de roulement tandis que le bruit est nettement plus faible (~1 cm sur le nuage brut).

Julien Vallet
Helimap System SA
Le Grand-chemin 73
CH-1066 Epalinges
julien.vallet@helimap.ch