

Cartographie 3D par levé laser aéroporté

Par Olivier de JOINVILLE,

Chargé de recherches et d'études au Laboratoire MATIS

Institut Géographique National,

2-4 avenue Pasteur, 94165 SAINT MANDE Cedex, FRANCE.

olivier.de-joinville@ign.fr

ملخص:

إن الليزر المحمول جوا، تقنية ظهرت بصفة صليحة خلال العشر سنوات الأخيرة. هو الآن متعمل بكثرة في تطبيقات متنوعة تهم وحدات المهنة بهدف إستعادة المناظر الطبيعية بالأبعاد الثلاثة. تعتمد هذه التقنية على مبدأ تشغيل بسيط: بتعلق بتحديد الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للنقاط المتواجدة على الأرض بتعدد كبير مع قياس المسافة التي تفصلها عن الطائرة أو المروحية. هذا النظام يقدم نتائج دقيقة جوهريا إلا أنه يعتمد كثيرا على استعمال مهيأ ل GPS و INS للذان قد يؤديان إلى أخطاء ممساحية لا يمكن تجاهلها. لقد شارك المعهد الوطني الجغرافي الفرنسي في تحقيقات تجريبية بأنظمة إقتناء مختلفة فوق مناظر طبيعية متنوعة (مدن، جبال، غابات). أثبتت النتائج النجاعة اليفينة لهذه التقنية التي تجمع في نفس الوقت بين سرعة الإقتناء و الدقة. في مجال الخرائطية ذات الأبعاد الثلاثة لا يمكننا الجزم بأن أنظمة الليزر المحمول جوا قد تعطي نتائج أفضل من الأنظمة التصويرية: إذ تظهر كلا التقنيتين وكأنها متكاملة بدلا من أن تكون متضاربة.

Résumé :

Le laser aéroporté est une technique qui a fait son apparition de manière opérationnelle au cours de ces dix dernières années. Il est maintenant fréquemment utilisé pour des applications diverses intéressant des corps de métier visant à restituer les paysages en 3D. Cette technique s'appuie sur un principe de fonctionnement simple : il s'agit de déterminer les coordonnées 3D de points au sol avec une grande fréquence en mesurant la distance qui les sépare d'un avion ou d'un hélicoptère. Ce système fournit des résultats précis intrinsèquement mais il est fortement dépendant d'un emploi adapté du GPS et de l'INS qui peuvent induire des erreurs planimétriques non négligeables.

L'Institut Géographique National de France a participé à des vols tests avec différents systèmes d'acquisition sur des paysages variés (villes, montagnes, forêts). Les résultats ont prouvé l'efficacité indéniable de cette technique qui associe à la fois rapidité d'acquisition et précision. En matière de cartographie 3D on ne peut pas affirmer que les systèmes laser aéroportés fournissent de meilleurs résultats que les systèmes imageurs : les deux techniques se présentent a priori plutôt comme complémentaires que comme concurrentes.

Mots Clés : Evaluation, laser aéroporté, MNS, points 3D, corrélation.

Abstract :

Airborne laser systems become more and more widespread these last ten years. Nowadays airborne laser is frequently used for many applications involving diversified activities in 3D cartography domain.

This technique relies on a simple functioning principle : it is the matter to compute 3D coordinates points on the ground with an high frequency by measuring the distance between an aircraft or an helicopter and the 3D points. This system yields accurate results intrinsically but it depends on an adapted use of DGPS and INS which can generate rather high planimetric errors.

French National Geographic Institute took part in test flights using various scanning techniques over different landscapes (cities, forests, mountains). Results demonstrate the effectiveness of this technique which uses acquisition quickness and accuracy. In 3D cartographic domain one cannot affirm clearly that airborne laser systems provide better results than those issued from image processing : both techniques are rather complementary than concurrent.

Keywords : Assessment, airborne laser, DSM, 3D points, correlation.

1 Introduction, historique

C'est à partir du début des années 70 que le levé laser aéroporté s'est réellement développé grâce à l'apparition de l'Airborne Profile Recorder (APR). Cet appareil permettait d'enregistrer un profil altimétrique par avion et déterminait l'altitude d'un point en combinant les mesures de deux instruments : un altimètre barométrique et un distance-mètre radar. Il a été remplacé par le Geodolite Laser Profiler qui, plus précis, permettait de mesurer l'altitude d'un point au sol avec une précision de 1m à 2000m d'altitude.

Dans les années 80 ce sont les allemands qui ont mis au point des systèmes de laser profiler à grande fréquence d'acquisition ce qui permettait d'obtenir rapidement des coupes du terrain.

Face au succès grandissant de cette technique, la technologie a encore fortement évolué grâce à l'apparition de systèmes laser scanner qui, cette fois ci, effectuaient un balayage perpendiculaire au mouvement du vecteur et offraient donc la possibilité de couvrir des zones de terrain plus vastes nécessitant moins de lignes de vol. On est ainsi passé de coupes linéaires du terrain à une véritable cartographie 3D du paysage.

De nos jours les systèmes laser aéroportés offrent une acquisition rapide et précise de points 3D, en mesurant la distance entre un avion (ou un hélicoptère) et le sol.

Ils suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant pour les applications les plus diverses impliquant des corps de métier tels que les opérateurs de télécommunications, l'environnement, la défense nationale, les urbanistes, les architectes et les sociologues ou même le cinéma et le tourisme pour des projets de réalité virtuelle, d'animation et de simulation. La rapidité d'obtention de ces données 3D, la bonne précision altimétrique en tous milieux et leur coût abordable, les posent en concurrents très sérieux des techniques d'acquisition 3D par restitution photogrammétrique ou par corrélation automatique.

En matière de production de modèles numériques de terrain, les systèmes laser aéroportés permettent a priori d'atteindre des performances difficilement accessibles par d'autres techniques, aussi bien sur le plan de la précision et de la densité qu'en ce qui concerne les rendements au km². Cet article décrit le fonctionnement des principaux systèmes laser, leurs applications générales et fournit quelques éléments d'évaluation suite à un vol qui s'est effectué sur la ville d'Amiens en février 2002.

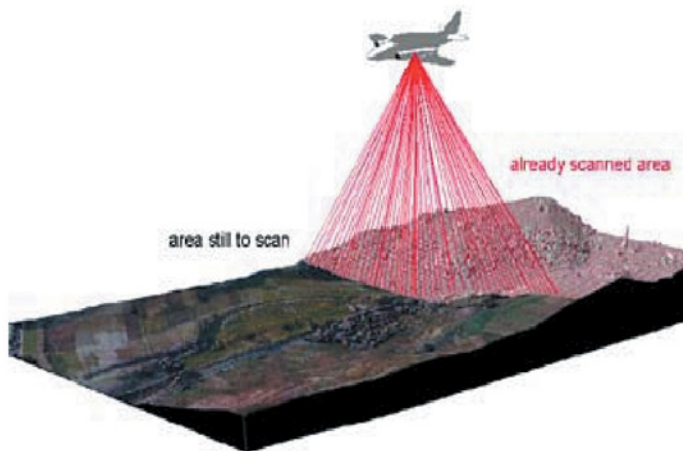
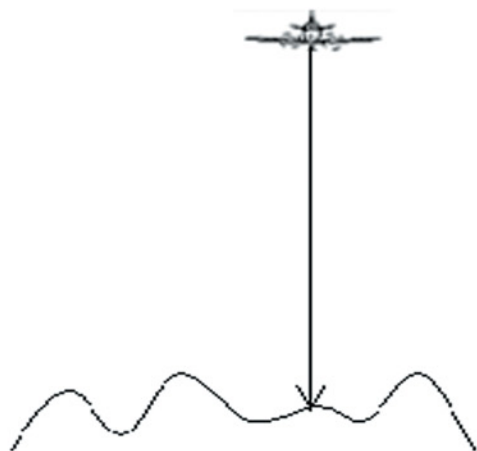


Figure 1 : Laser profiler (à gauche), laser scanner (à droite).

2 Fonctionnement et applications

2.1 Acquisition

Principe général

Le principe de fonctionnement des systèmes laser est simple [JOINVILLE et al 02] : une série d'impulsions est émise à très haute fréquence (jusqu'à 83kHz), puis est réfléchiée par le sol. La distance entre le sol et le vecteur aérien (avion ou hélicoptère) est ensuite évaluée en fonction de la mesure du temps de retour de l'impulsion qui est estimée à 10-10 seconde près. La plupart des systèmes fonctionnent dans des longueurs d'onde appartenant au proche infrarouge (de 1000 à 1500 nanomètres). Afin d'assurer une localisation spatiale précise de l'émetteur-récepteur laser, les LIDAR¹ utilisent un système de positionnement composé d'un récepteur GPS embarqué et d'une centrale inertielle (INS). Il est fortement recommandé en outre de disposer d'au moins une station GPS au sol, à proximité de la zone de vol (30km maxi), pour améliorer la précision géographique du capteur (Figure 2). Le rayon laser ainsi géoréférencé dans l'espace permet d'obtenir des points 3D au sol avec une bonne précision.

Trajectoire

Des logiciels dédiés calculent la trajectoire en tenant compte des paramètres de vol (nombre de bandes, longueur et largeur de bandes, taux de recouvrement, position du GPS de référence).

Afin de ne pas dérégler l'INS, les bandes ne doivent pas être trop longues ; une bande transversale est nécessaire pour chaque vol afin de pouvoir recalibrer toutes les bandes par rapport à elle ce qui évite de propager les erreurs du recalage des bandes longitudinales l'une par rapport à l'autre.

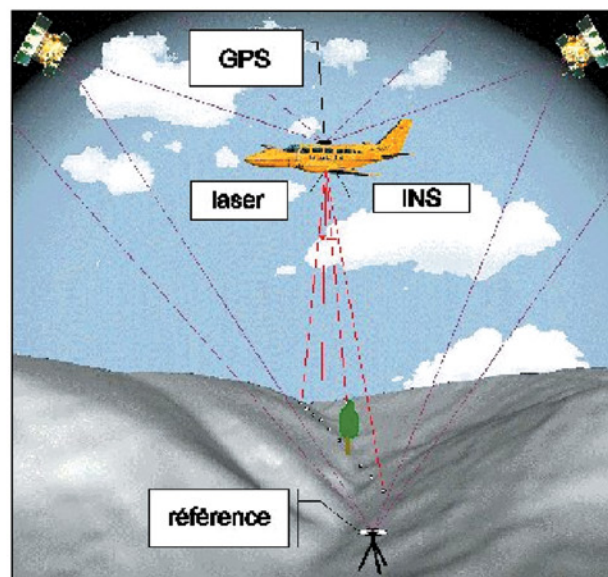


Figure 2 : Principe d'acquisition des mesures laser

¹ Light Detection And Ranging

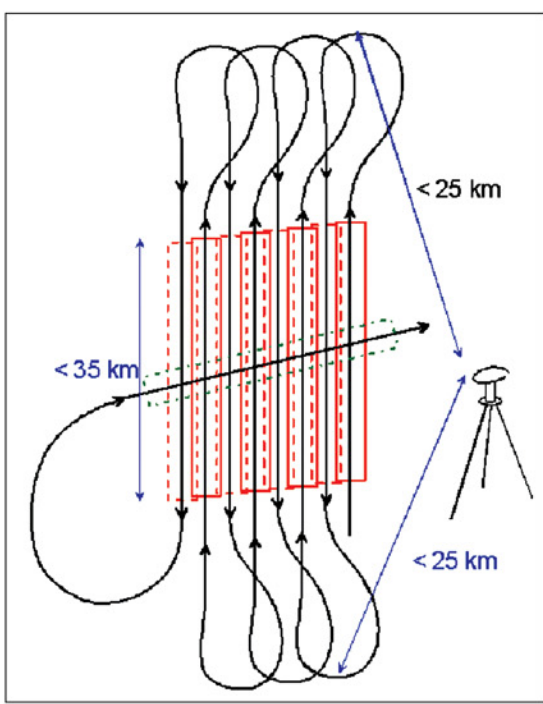


Figure 3 : Trajectographie d'un vol laser

Le recalage des bandes [Burman00, Latypov00] vise à trouver des transformations (translation, rotation) pour que les bandes s'ajustent le mieux possible en planimétrie et en altimétrie. Il s'effectue en utilisant des points d'appui et des points de liaison qui sont sélectionnés sur des petites zones de recouvrement interbandes. Les homologues sont calculés par des techniques s'apparentant à des techniques de corrélation utilisées en photogrammétrie numérique. Différentes techniques de balayage

Plusieurs méthodes de balayage du terrain ont été mises au point par les différents constructeurs afin d'optimiser la densité et l'homogénéité des points 3D mesurés au sol.

Miroir oscillant (Figure 4) : Le miroir est en rotation autour de l'axe de vol et crée des lignes en dents de scie. C'est le système le plus répandu (Optech et LHS).

Faisceau de fibres (Figure 5) : C'est le système adopté par la société allemande TopoSys. Il se présente sous forme d'un pinceau de fibres optiques contenant 128 fibres (127+1 fibre de référence qui sert à calibrer le système). Les impulsions laser sont distribuées à très haute fréquence (83 KHz) par un miroir rotatif. Ce système fournit une densité de points plus importante dans le sens de la trajectoire de l'avion que dans le sens perpendiculaire (environ 20cm pour 1.2m perpendiculairement à la trace, à 1000m d'altitude).

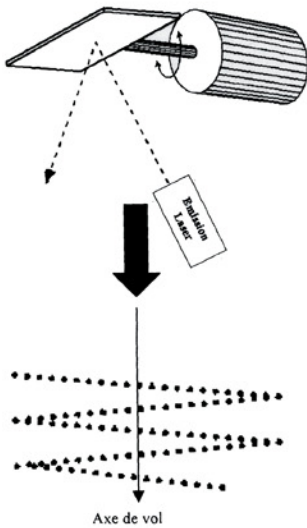


Figure 4 : Principe du miroir oscillant

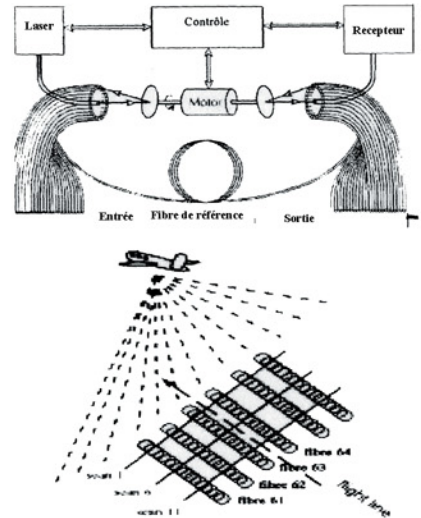


Figure 5 : Principe du faisceau de fibres (© TopoSys)

Deux techniques sont actuellement étudiées par l'université de Stuttgart, elles visent à obtenir une répartition plus homogène au sol :

Miroir rotatif à axe incliné (système ScaLARS) : le miroir tourne autour d'un axe légèrement incliné, engendrant une déviation du faisceau et des traces elliptiques.

Polygones en rotation : ce système combinant plusieurs miroirs en rotation autour d'un axe produit des lignes parallèles. C'est en fait le même principe que celui du miroir oscillant, mais sans retour.

Paramètres caractéristiques

Le Tableau 1 décrit différents paramètres caractérisant les systèmes laser dont certains sont directement liés aux capacités de l'instrument (fréquence, divergence...). Si l'on veut par exemple faire du levé en zone urbaine, il faudra éviter d'utiliser un angle de balayage trop élevé afin de limiter le nombre d'occultations, même si cela nécessite un nombre de bandes supérieur.

Paramètres techniques	
Fréquence des impulsions	Typiquement 10 à 30 kHz, jusqu'à 83 kHz.
Angle de balayage	Typiquement 10° à 45°, 75° maxi.
Fréquence de balayage	Quelques dizaines de lignes par seconde.
Nombre d'échos enregistrés par impulsion émise	Jusqu'à 5 en milieu forestier.
Fréquence d'acquisition des mesures GPS/INS	GPS : de 1 à 10Hz, INS : 50-200Hz.
Divergence du faisceau laser	De l'ordre de 0.5 mrad soit environ 10 cm au sol à 1000m.
Paramètres de vol	
Hauteur de vol Vecteurs	De 100 jusqu'à 3000m, 6000m maxi Hélicoptère ou avion.
Densité des points	De 0,1 à 5 points par m ² .
Largeur de bande	Environ 580m pour un angle de balayage de ±20° et une hauteur de vol de 800m.
	2400m pour un angle de balayage de 45° et une hauteur de vol de 3000m.

Tableau 1 : Paramètres de vol des systèmes laser

La fréquence d'acquisition du GPS et de l'INS (respectivement ~1 Hz et ~100 Hz) est beaucoup plus faible que la fréquence d'acquisition des points (~50 kHz). Ceci suppose une interpolation de la position et des angles d'attitude de l'avion pour connaître précisément l'orientation du faisceau laser à chaque impulsion. La fréquence des impulsions combinée avec la vitesse de vol du vecteur permet d'obtenir une densité de points au sol comprise entre 0,1 et 5 points par m² sur une bande.

Dans une zone de recouvrement entre deux bandes elle augmente encore de manière significative.

Il est maintenant possible de voler à très haute altitude (6000 m). Cette configuration, bien que permettant de couvrir très rapidement des surfaces importantes, se heurte à des problèmes de puissance d'émission et à des contraintes météorologiques plus strictes, il peut en effet y avoir fréquemment des nuages entre l'avion et le sol.

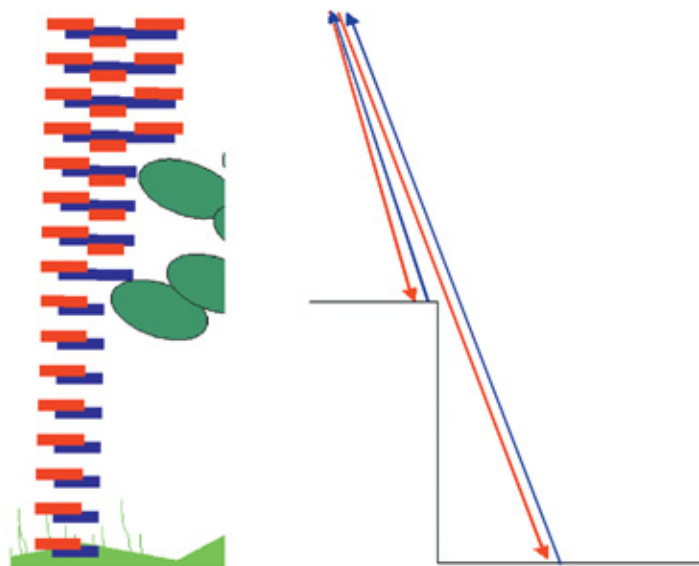


Figure 6 : Mise en évidence de la séparabilité du faisceau : à gauche le faisceau se scinde en trois parties sur de la végétation ; à droite il se coupe en deux sur le bord d'un bâtiment.

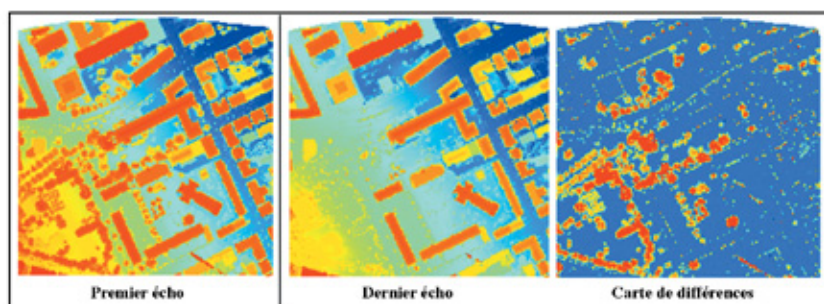


Figure 7 : Visualisation d'une carte altimétrique premier écho, dernier écho et d'une carte de différences entre les deux.

Données de réflectance

Certains LIDAR aéroportés enregistrent de plus une information de réflectance [MAAS 2001]. Celle-ci fournit une information sur la quantité de signal reçue et dépend essentiellement de la nature de l'objet² rencontré par le rayon laser.

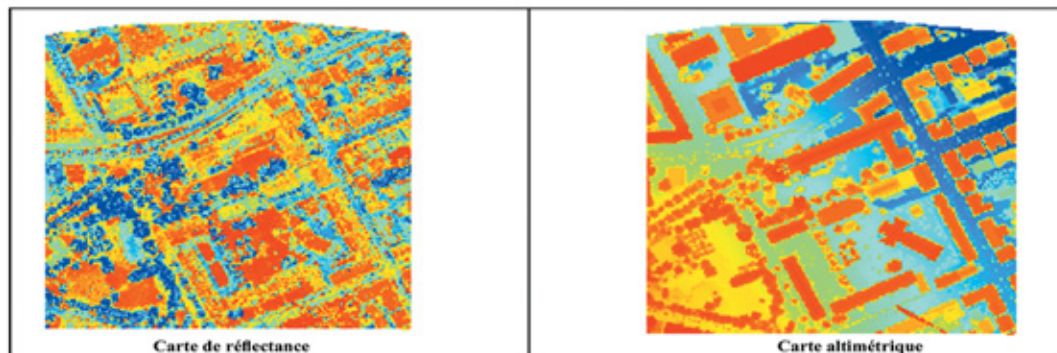


Figure 8 : Carte de réflectance et carte altimétrique

2.2 Applications

Milieux forestiers [HAUGERUD, HARDING 01]

Comme nous l'a montré la Figure 6, le rayon peut pénétrer la végétation et réfléchir un ou plusieurs échos. Le premier se réfléchit souvent sur la canopée (sommets des arbres), tandis que le dernier écho peut atteindre le sol³. La Figure 9 montre clairement les réflexions des sommets des arbres, distinctement des réflexions du sol. Cette application est très spécifique au laser, il paraît en effet inconcevable de pouvoir effectuer une cartographie 3D des forêts avec des images aériennes, d'une part, parce qu'à la différence du laser, les images ne permettent pas de voir sous le couvert végétal et d'autre part, il est particulièrement difficile d'effectuer des corrélations de qualité avec des images aériennes sur une surface forestière.

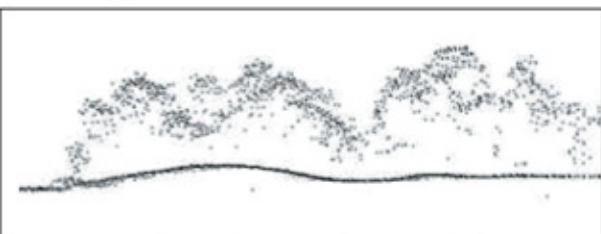


Figure 9 : Coupe altimétrique laser en milieu forestier

MNS de sites urbains

Les modèles numériques de surface restitués par laser aéroporté en milieu urbain sont essentiellement destinés aux opérateurs de télécoms, mais d'autres applications peuvent être envisagées, notamment la génération de modèles d'écoulements lors de crues ou la détection de changements. Comme nous le verrons dans la partie traitant des évaluations des données laser, les MNS laser en zone urbaine souffrent de quelques imperfections dues aux fréquentes ruptures de pente rencontrées dans ce milieu (contours rarement rectilignes, façades souvent lissées par les interpolations entre les points et donc rarement verticales...).

Elle n'est que peu corrélée aux cartes altimétriques comme le montre la Figure 8. En zone urbaine, elle permet difficilement de faire de l'interprétation tant les réponses sur les différentes surfaces sont variées. On peut cependant distinguer les rues majoritairement de couleur bleue (faible réflectance).

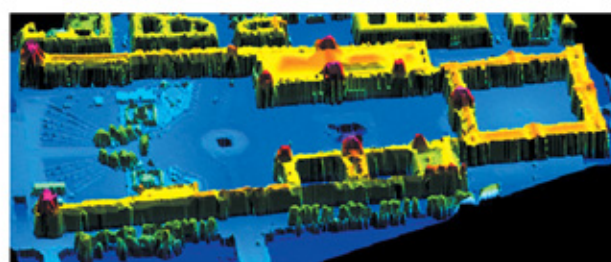


Figure 10 : Modèle 3D du Louvre dérivé d'un nuage de points laser; on peut noter que la pyramide a été traversée par les rayons et se présente donc sous forme d'un cratère.

MNT

Il existe de nombreux logiciels de classification sol/sursol [KRAUS, PFEIFER 01] qui permettent de filtrer les points du sursol pour n'obtenir que des points contenant le sol et donc un MNT. Sur la Figure 11, on voit que la partie inférieure gauche ne comprend plus que le sol, les bâtiments et la végétation ayant été filtrés.

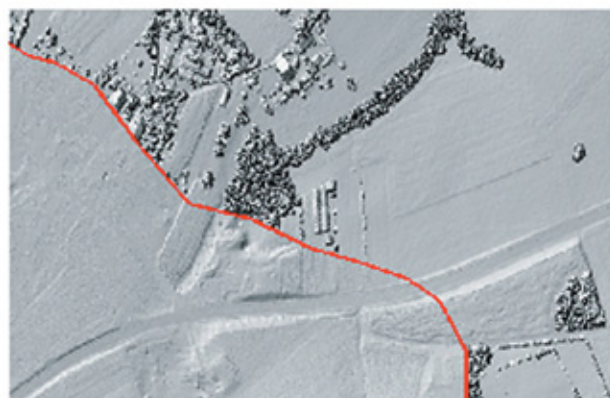


Figure 11 : Exemple de classification sol-sursol

² **Faibles valeurs** : Surfaces sombres, Asphalte, Charbon, Surfaces mouillées, Eau calme.

Fortes valeurs : Surfaces claires, Herbe, Végétation, Eau agitée.

³ Il faut bien noter que le rayon ne pénètre pas les feuilles, il se faufile dans les interstices.

Le levé laser a déjà été utilisé pour l'étude de mouvements de terrain. Cette application profite, en plus de la précision, de la rapidité d'acquisition et de la disponibilité des modèles. De même, des applications existent pour la détection de changements suite à un tremblement de terre ou pour la prévision de risques d'inondation.

La surveillance des côtes (Figure 12) peut se faire avec des lasers dédiés à la bathymétrie ayant un pouvoir de pénétration important dans l'eau très claire (jusqu'à 50m).

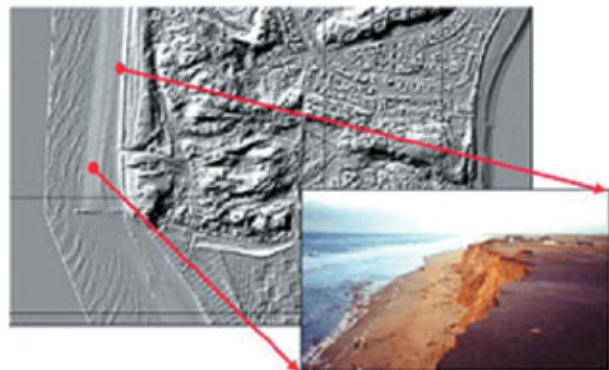


Figure 12 : Application du laser aéroporté pour le suivi des côtes (© TopoSys)

Relevé de corridor

Le levé laser est également employé pour des projets linéaires de faible largeur, comme le levé le long de lignes à haute tension (Figure 13), ce qui permet de localiser rapidement les obstacles présentant un danger potentiel (par exemple des arbres). Tout comme les applications en sylviculture, cette application est une spécificité du laser aéroporté. Cette dernière application s'effectue avec un hélicoptère.

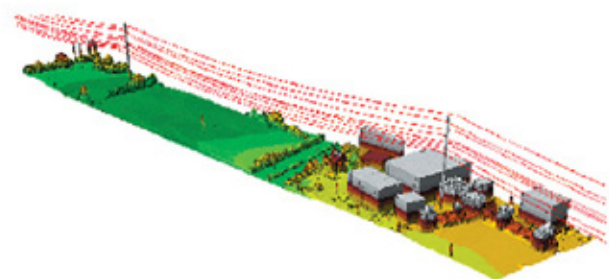


Figure 13 : Relevé d'une ligne à haute tension (© TopoSys)

Reconstruction 3D de bâtiments

La reconstruction 3D de bâtiments [HAALA, BRENNER 99] [VOSSSELMAN, SUVEG 01], est une application qui fait encore partie du domaine de la recherche. Celle-ci peut se faire généralement avec l'apport de données externes comme le cadastre.

Projets à l'échelle nationale

Deux projets à l'échelle nationale sont actuellement en cours. Ils concernent un pays très montagneux, la Suisse, pour l'amélioration de son MNT (précision de 30 à 50 cm) et un pays très plat, la Hollande, essentiellement pour le suivi de la montée des eaux aux abords des côtes [IRISH, LILLYCROP 99].

2.3 Eléments d'évaluation

Description du vol sur Amiens

L'IGN a sous-traité ce vol auprès de la société allemande Toposys pour tester les performances du laser aéroporté en zone urbaine et péri urbaine. L'institut possédant un chantier complet d'images numériques sur la ville d'Amiens, il semblait logique de faire ce vol-test sur la même zone. Ce vol s'est déroulé dans des conditions climatiques très favorables, à savoir un temps sec et clair ce qui a permis d'obtenir un pourcentage très important d'échos fiables. De plus le vol ayant eu lieu en hiver, une grande majorité d'impulsions sur la végétation ont donc pu arriver jusqu'au sol.



Figure 14 : Zone de survol laser sur Amiens

Caractéristiques techniques du vol

- 14 bandes longitudinales d'environ 250 mètres de large chacune et une de contrôle dans le sens transversal.
- GPS différentiel sur station de référence proche d'Amiens.
- Densité : environ 4 à 5 points par m² par bande, jusqu'à 8 en zone de recouvrement.
- Altitude : 1000m / sol.
- Superficie : environ 10 km².

Techniques d'évaluation

On peut trouver dans la littérature quelques travaux d'évaluation de données laser [CASELLA 01].

En ce qui nous concerne, les données du vol sur Amiens (brutes, premier et dernier écho ainsi que les MNS) ont été évaluées suivant les trois principes suivants :

- **Des évaluations intrinsèques (sans référence) :** les données sont projetées sur une grille et l'on peut visuellement se rendre compte de la distribution des points dans l'espace. Les évaluations intrinsèques nous ont permis de constater que la répartition des points est assez inégale du fait du système lui-même (cf. paragraphe 2.1) et du fait que certaines zones sont couvertes par une seule bande et d'autres par plusieurs. Cette répartition inhomogène fait apparaître certaines imperfections notamment au niveau des contours des bâtiments Figure 15.

- **Des comparaisons entre le MNS laser et un MNS de référence (TRAPU®) :** ces comparaisons s'effectuent sur le plan altimétrique par mise en géométrie commune et différence pixel à pixel et sur le plan planimétrique par extraction de contours du MNS laser et comparaison avec le contour de référence.

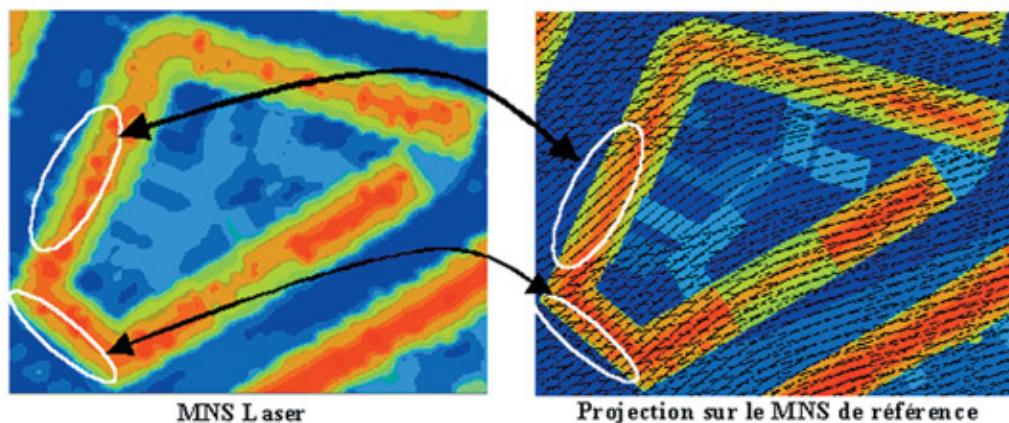


Figure 15 : Différence de contours en fonction de la densité de points

Différents types de toits ont été étudiés : plats, bipente et monopente.

Les histogrammes d'erreurs (exactitude altimétrique) présentent un ou plusieurs modes. Certains sont bien centrés avec un biais très faible, ce qui indique que les résultats sont proches de la référence dans l'ensemble. D'autres font ressortir un biais provenant également du fait que le laser a détecté certains objets (cheminées, mansardes, ...) qui n'apparaissent pas toujours dans la référence dont la saisie date de plus de 10 ans.

Les écarts types des erreurs sont assez peu élevés, en effet le laser est un système fiable : sur la même surface les mesures sont très peu bruitées.

Des comparaisons entre les exactitudes des MNS laser et des MNS de corrélation : les MNS laser et de corrélation ont été comparés avec les MNS Trapu®. Les statistiques font ressortir un bruit important dans les MNS multicorrélation par rapport aux MNS laser sur certains pans de toit, ceci provient du manque de robustesse du coefficient de corrélation multi-image dans les zones peu texturées. Il semble que les deux techniques d'acquisition 3D soient complémentaires : en effet sur des zones fort peu texturées la multi corrélation tout comme la corrélation stéréoscopique fournit des résultats souvent médiocres ce qui n'a aucune raison d'être le cas pour le laser aéroporté, inversement la multi corrélation ou la corrélation par programmation dynamique produisent la plupart du temps des contours assez rectilignes.

3. Conclusion

Suite à notre expérience en laser aéroporté et après avoir étudié la littérature dans le domaine, on peut affirmer que les systèmes laser présentent les avantages suivants :

- *Forte précision altimétrique* : les systèmes laser reposent sur une mesure de distance très précise et permettent donc d'obtenir des données altimétriques fiables.

- *Peu de contraintes météorologiques* : le laser est un système actif qui peut être utilisé de nuit ou par temps sombre. Il ne faut pas qu'il y ait des nuages entre l'avion et le sol. Il est de plus déconseillé de voler par grand vent pour ne pas perturber la stabilité du vecteur et du capteur.

- *Utilisation des échos multiples* en milieu urbain et surtout en milieu forestier (bonne pénétration dans la végétation).

- *Rapidité de préparation, d'acquisition et de traitement* : les données sont enregistrées lors du vol puis elles sont calculées à l'issue de la mission aérienne.

Cependant il est fortement conseillé de réaliser un travail terrain s'apparentant à une stéréopréparation même sommaire afin de pouvoir faire des contrôles de recalage externe.

- *Applications très spécifiques* : comme on l'a vu dans le paragraphe 2.2, certaines applications laser ne pourraient pas être employées en photogrammétrie classique (cartographie des forêts et relevé de corridors).

En revanche on peut noter les quelques points critiques suivants :

- En l'absence de processus d'ajustement des bandes, toute la qualité géométrique est issue de l'emploi combiné du DGPS et de l'INS. Les moyens de contrôle sont donc limités. En cas de problème sur un élément (station de référence au sol par exemple), tout le vol peut être inexploitable.

- Les données laser seules sont difficilement exploitables. Il est nécessaire de disposer d'outils de contrôle et de corrections des données laser s'appuyant sur des données externes (photogrammétrie numérique en générale).

On peut noter une répartition souvent inégale des points provenant à la fois de la nature du balayage (cf. § 2.1) et du recouvrement (certaines zones sont comprises dans deux bandes, d'autres dans une seule).

On peut penser également que pour des grands projets les vols laser sont particulièrement intéressants au niveau précision et coût.

L'IGN est notamment intéressé par des moyens de réfection de sa base de données altimétriques principalement en zone montagneuse où la précision de saisie n'est pas toujours assurée. A ce propos un vol sur une zone montagneuse avec du matériel Leica (ALS40) embarqué sur un avion de l'IGN a été effectué à la fin de l'été 2002. Ce vol a mis en évidence un net gain en précision et en rapidité d'acquisition. La mise en place et l'exploitation de matériels laser aéroportés exigent cependant un effort important en matière de formation des personnels et de réorganisation des équipes de production.

Références Bibliographiques:

- * [BURMAN 00] H. Burman : Adjustment of laser scanner data for correction of orientation error, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol XXXIII, Part B3. Amsterdam, pp. 125-132, 2000.
- * [CASELLA 01] V. Casella : Accuracy Assessment of Laser Scanning Data : a case study, 3rd International Symposium on Mobile Mapping Technology, Cairo, Egypt, 6-10 January 2001.
- * [HAALA, BRENNER 99] N. Haala, C. Brenner : Extraction of buildings and trees in urban environments, ISPRS, Vol.54, pp. 130-137, 1999.
- * [HAUGERUD, HARDING 01] R.A. Haugerud, D. J. Harding : Some algorithms for virtual deforestation of lidar topographic survey data, ISPRS Workshop on Airborne Laserscanning, Annapolis, Octobre 2001.
- * [IRISH, LILLYCROP 99] J.L. Irish, W.J. Lillycrop : Scanning laser mapping of the coastal zone : the SHOALS system, ISPRS, Vol. 54, pp. 123-129, 1999.
- * [JOINVILLE et al 02] O. de Joinville, B. Ferrand, M. Roux : Levé Laser aéroporté : état de l'art, évaluation, traitement des données et comparaison avec des systèmes imageur, bulletin n°166 de la SFPT, pp. 72-81, 2002.
- * [KRAUS, PFEIFER 01] K. Kraus, N. Pfeifer : Advanced DTM generation from LIDAR data, ISPRS Workshop on Airborne Laserscanning, Annapolis, Octobre 2001.
- * [LATYPOV 02] D. Latypov : Estimating relative lidar accuracy information from overlapping flight lines, ISPRS, Vol.56, pp. 236-245, 2002.
- * [MAAS 01] G. Maas : On the use of reflectance data for laser scanner strip adjustment, ISPRS Workshop on Airborne Laserscanning, Annapolis, Octobre 2001.
- * [VOSSELMAN, SUVEG 01] G. Vosselman, I. Suveg : Map Based Building Reconstruction from Laser Data and Images, Ascona 2001, Juin 2001.

Site internet récapitulatif : <http://www.geocities.com/capecanaveral/launchpad/8806/lasc/sommaire.htm>
