

L'altimétrie aéroportée de précision : lidar topographique et recherche

■ Frédéric BRETAR

Les nouveaux défis environnementaux en termes de prévision des risques et de gestion des ressources naturelles ont fait naître le besoin d'une cartographie altimétrique du terrain plus précise que celle proposée par les systèmes satellites imageurs ou bien que celle de la base de données altimétrique actuelle de l'Institut Géographique National. Si la photogrammétrie permet de générer la composante altimétrique sur de larges zones par des processus de corrélation automatique, cette technique n'est plus adaptée pour certains paysages comme les littoraux, ou bien les zones de végétation pour lesquelles le terrain, masqué, n'est plus visible. La technique de la télémétrie laser (ou lidar aéroporté) permet depuis quelques années de relever ces défis en fournissant une altimétrie de haute précision (point 3D), des informations sur la composition du sur-sol ainsi que des points terrain en présence de végétation.

Basé sur la mesure du temps d'aller retour entre une impulsion laser et son retour après réflexion sur la surface terrestre, les systèmes lidar aéroportés fournissent des nuages de points géoréférencés. Ces dernières années ont été le témoin d'avancées considérables aussi bien en matière de précision du mécanisme de géoréférencement, qu'au niveau de la cadence d'impulsion du laser, donc de la densité de points.

Le laboratoire MATIS de l'IGN est impliqué dans la conception d'algorithmes de traitements de données lidar aéroporté, ainsi que dans la valorisation des résultats appliquée à différentes thématiques (milieu urbain, milieu forestier). Par des approches transversales fournissant des nuages de points 3D, chercheurs et ingénieurs développent des méthodologies pour comprendre les erreurs de géoréférencement, automatiser les traitements, améliorer les IHM et les struc-

MOTS-CLÉS

Lidar aéroporté, recherche, nuages de points, classification automatique, MNT

tures de données, proposer de nouvelles approches algorithmiques.

Rappel sur les systèmes lidar aéroportés

Les systèmes lidar aéroportés sont des télémètres laser à balayage transversal. Fixé à bord d'un avion ou d'un hélicoptère, le système calcule le temps d'aller-retour d'une impulsion laser entre l'instant de son émission au niveau de la tête laser et sa réflexion sur la surface terrestre. L'angle de visée du laser est mesuré au niveau du miroir oscillant ou rotatif déviant l'impulsion laser, la position de l'avion est estimée par géoréférencement direct (couplage des données de position GPS et de l'attitude de l'avion acquis par une centrale inertielle). La diffraction du rayon lumineux (de 0,3 à 0,8 mrad pour les systèmes aéroportés les plus utilisés) permet de recueillir, au niveau des paysages inclus dans le cône de diffraction, plusieurs pics d'énergie pour une même impulsion laser : ce sont les échos. La séparabilité du faisceau laser est une propriété essentielle faisant des systèmes lidar aéroportés des outils indispensables pour l'étude du milieu forestier et l'extraction de la surface terrain sous couvert végétal.

Une série de traitements de ces données est aujourd'hui opérationnelle, basée sur des approches semi-automatiques. Il s'agit de :

- l'ajustement géométriquement de plusieurs bandes pour générer un chantier globalement cohérent,
- classer le nuage de points 3D en points sol et points sur-sol,
- d'utiliser les points sol comme supports pour la génération de Modèles Numériques de Terrain.

En ce qui concerne la gestion forestière, on voit apparaître sur le marché des logiciels spécifiques fournissant des variables forestières à l'échelle de la parcelle.

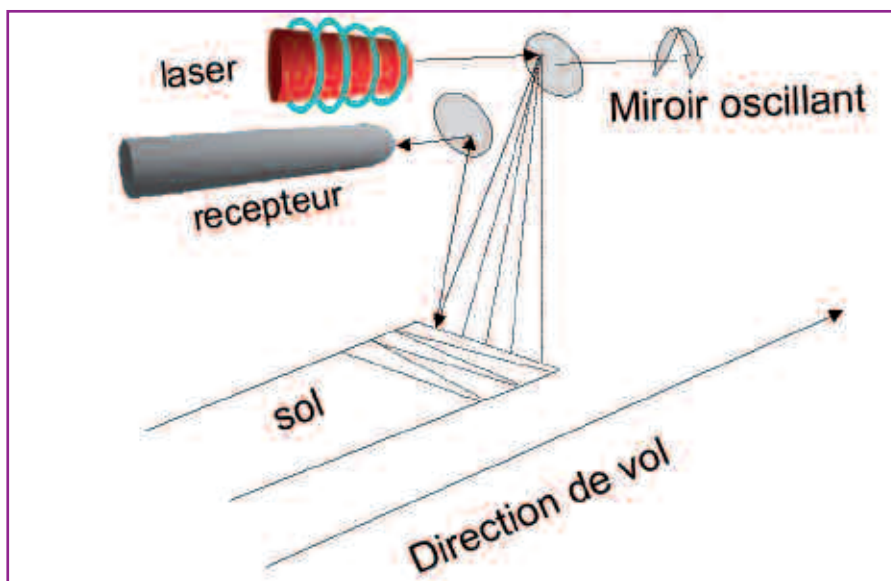


Figure 1. Mécanisme d'un lidar à balayage latéral.



De plus, de nouveaux systèmes lidar à retour d'onde complète (ROC) sont maintenant disponibles. Ces systèmes n'enregistrent plus uniquement les quelques pics d'énergie rétrodiffusée, mais la totalité de l'onde laser réfléchi. En effet, l'énergie de l'impulsion laser émise se concentre dans une porte temporelle de quelques nanosecondes, prenant une forme pseudo-gaussienne (figure 2). L'interaction de cette onde avec la surface terrestre (parfois complexe) fournit une onde retour dont la distribution temporelle est une suite de pics plus ou moins énergétiques, caractéristiques de la distribution 3D et de la réflectance de la cible.

Ces données n'ont pas encore d'application opérationnelle, mais les chercheurs s'y intéressent particulièrement, notamment pour la caractérisation des matériaux et la description de la structure 3D des arbres. Un des objectifs du MATIS est de dégager les potentialités de telles données pour des applications de cartographie et d'interprétation automatique de paysages.

Les recherches au MATIS

Fin 2006, le MATIS a développé un axe de recherche spécifique aux traitements de données lidar aéroporté dont le but est d'acquérir ce nouveau savoir-faire et de l'intégrer au cadre photogramétrique déjà confirmé du laboratoire. Dans la problématique générale de l'étude de la fusion laser/image, nos recherches s'articulent aujourd'hui autour de cinq thèmes.

■ La préparation de la fusion de données en géométrie mixte

La fusion de données nécessite une étape de mise en cohérence des sources laser et image. En exceptant les configurations où les données lidar sont acquises de manière synchronisée avec une caméra numérique de haute qualité radiométrique, le problème de la mise en correspondance est toujours présent, notamment si les mécanismes de géoréférencement sont différents. Il s'agit, pour l'ajustement de bandes laser adjacentes, de trouver des éléments homologues dans deux ou plu-

sieurs nuages de points, puis d'appliquer une transformation géométrique adaptée. Ces éléments homologues peuvent être de nature différente : routes détectées à la fois dans le nuage de points et dans les images, morceaux de surface, etc.

■ La génération de Modèles Numériques de Terrain automatique de nuages de points

Les données lidar sont particulièrement populaires pour la qualité des MNT générés. Ces MNT sont à la base de nombreuses applications thématiques en milieu urbain et naturel. La qualité des résultats de certaines approches automatiques dépendent des paysages. Une interaction conviviale avec les données permet de corriger les erreurs des algorithmes. Nous nous intéressons particulièrement à développer des méthodes automatiques, fonctionnant avec peu de paramètres, sur des paysages variés. Plusieurs approches sont mises en œuvre au laboratoire.

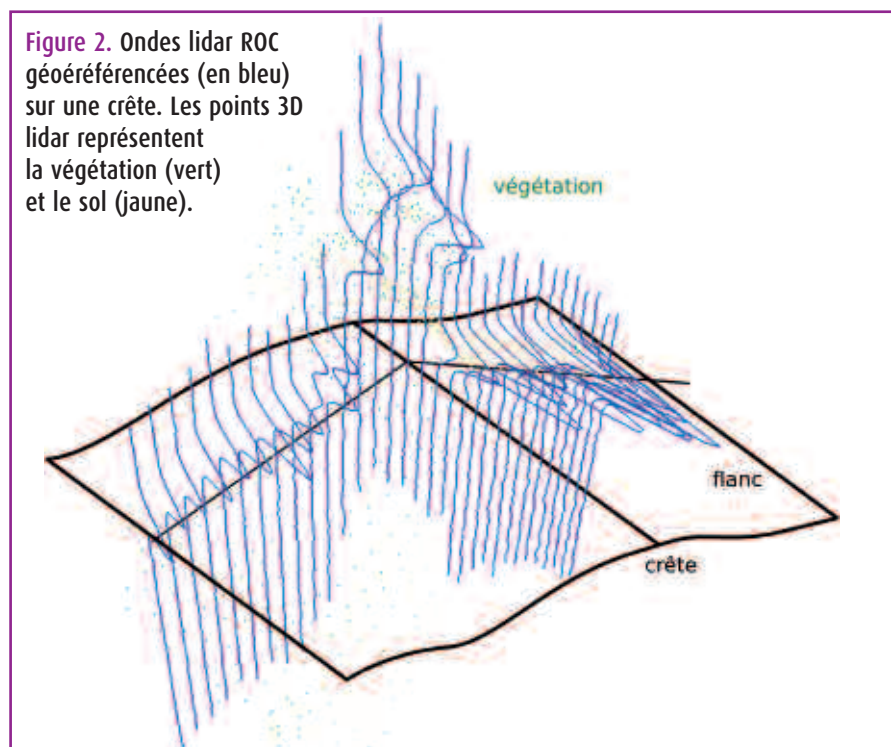
Si la mesure des points laser est précise à 0,4 m en planimétrie et 0,15 m en altimétrie, la précision des MNT, issus d'un processus de filtrage et de ré-échantillonnage, varie en fonction de la résolution de la grille, de l'algorithme utilisé,

de la composition et du type de paysage. Nos études ont montré par exemple que la précision altimétrique des MNT en milieu montagneux en présence de végétation est décimétrique (<1m), mais également que le processus d'ajustement de bandes est précieux et complexe, les transformations à appliquer étant fortement non linéaires.

■ La création d'une chaîne de traitement de données laser ROC

Les données lidar ROC sont aujourd'hui très peu utilisées et n'ont pas encore d'application opérationnelle. Beaucoup plus volumineuses que les données multi-échelles, il n'existe pas de chaîne de traitement. Nos recherches sont donc d'une part opérationnelles puisqu'elles consistent à écrire les procédures permettant de lire les données brutes (fichiers binaires d'acquisition) puis de les géoréférencer, mais aussi théoriques puisque la mise en place de l'algorithme dépend de la thématique de recherche. Parallèlement, l'étude de la physique du signal lors de l'interaction de l'onde émise avec les éléments de topographie nous guide sur le potentiel de ces données pour l'extraction d'information supplémentaire. Deux thèses de doctorat sont en cours spécifiquement sur l'utilisation de ces

Figure 2. Ondes lidar ROC géoréférencées (en bleu) sur une crête. Les points 3D lidar représentent la végétation (vert) et le sol (jaune).



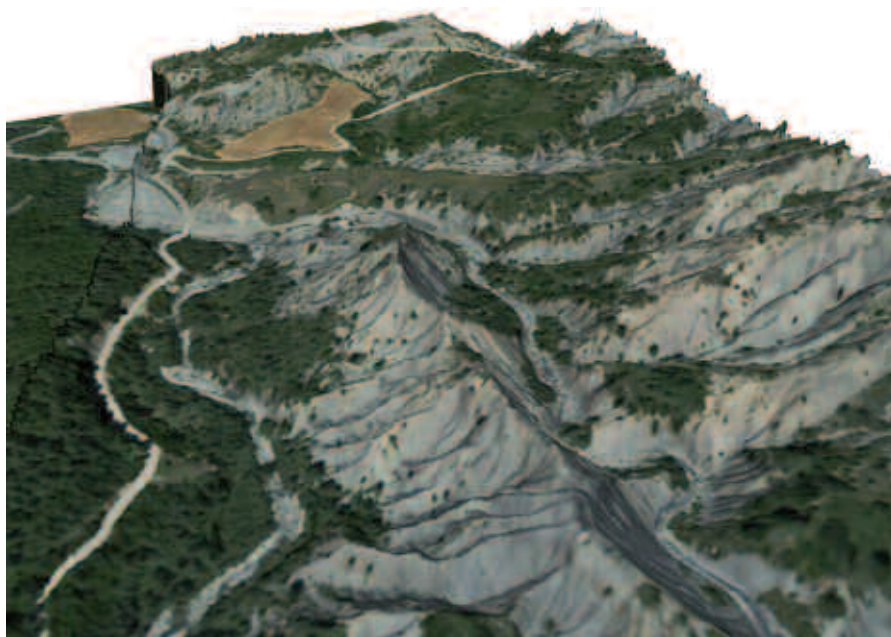


Figure 3. Orthophoto plaquée sur un MNT lidar en milieu montagneux.

données en milieu urbain (C. Mallet) et en milieu forestier (A. Chauve).

■ La segmentation/classification d'images et de données laser

La finalité des recherches du MATIS est à trouver dans la cartographie (semi) automatique des territoires (2D et 3D), principalement à l'échelle locale (ville) ou régionale. La segmentation des images et des données lidar est donc au cœur de nos recherches théoriques et pratiques, et est une activité transversale des axes de recherche. Basées sur des méthodologies de type hiérarchique en exploitant la complémentarité régionale des images et des points laser en milieu urbain ou bien sur des classifieurs du type machine à noyaux pour faire apparaître des similarités dans un espace de paramètre de dimension variable, les traitements mis en œuvre sont une adaptation à notre contexte d'approches génériques et révélées pertinentes. Nous nous intéressons à la cartographie du milieu forestier, en partenariat avec des instituts spécialisés français et européens, pour qualifier la structure 3D des arbres (individuels ou statistiques au niveau de la parcelle) dans le but de retrouver des cartes de biomasse ou des profils de végétation, mais aussi pour faire une cartographie des strates de végétation dans le cadre de la prévention des feux de forêts. Une thèse de doctorat est

actuellement en cours sur ce thème (A. Ferraz).

■ La création d'IHM originales et performantes

La représentation des données, des résultats et l'interaction (les requêtes) entre un algorithme et les données deviennent une tâche critique pour le chercheur et l'utilisateur soucieux de l'efficacité de ses traitements et de l'esthétique de ses résultats. Trop conscients des limitations imposées par un logiciel commercial, nous avons décidé de lancer une action de R&D sur la création d'une Interface Homme-Machine conviviale et performante, intégrant une recherche sur des structures de données efficaces, une représentation 2D couplée à une visualisation 3D (N. David). Le cas particulier des données ROC est éloquent puisqu'il n'existe aucun logiciel permettant de gérer, de manipuler et de visualiser de telles données.

Conclusion

Le lidar est en France une technologie récente mais opérationnelle dans nombre de situations. Les recherches menées au laboratoire MATIS, loin de ne servir que les services de production de l'IGN, s'inscrivent en bonne place dans la communauté internationale de

photogrammétrie et de télédétection. Nous concentrons nos efforts à rendre les traitements plus automatiques, plus fiables, et à susciter chez les utilisateurs de la topographie de précision (archéologues, forestiers, hydrologues, géophysiciens, etc.) un intérêt grandissant pour ces données. ●

Contact

Dr. Frédéric BRETAR
frederic.bretar@ign.fr

Quelques références

F. Bretar, N. Chahata. *Génération de modèles numériques de terrain par fusion de données lidar et image*. Traitement du Signal – Numéro spécial Télédétection pour la surveillance et la gestion de l'environnement, En cours de publication, 2008

F. Bretar, M. Pierrot-Deseilligny, M. Roux. *Fusion LIDAR/photogrammétrie : une mise en cohérence globale*. Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA). Toulouse, France, janvier 2004.

Collectif. *Atelier REGLIS : LiDAR et surfaces continentales : techniques, applications et perspectives*. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, n° 186. Sous la dir. de C. Puech. 2007.

C. Mallet, F. Bretar. *Le Lidar Topographique à Retour d'Onde Complète : Etat de l'art*. Traitement du Signal, volume 24, n° 6, pp. 441-465, 2007.

C. Mallet, A. Chauve, F. Bretar. *Analyse et traitement d'ondes lidar pour la cartographie et la reconnaissance de formes : Application au milieu urbain*. Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA). Amiens, France, janvier 2008.

ABSTRACT

This article summarizes the research field of the MATIS laboratory (Institut Géographique National) dedicated to lidar data processing. Airborne lidar systems actually provide very accurate 3D point clouds that can be automatically processed to generate digital terrain models as well as a relevant point classification. Moreover, full-waveform lidar data are among the most promising data to get a 3D classification of landscapes, particularly on forested areas.