

Lever de limites naturelles par scanner laser aérien (LIDAR)

Evaluation et perspectives dans le cadre de la mensuration cadastrale

La qualité offerte pour les mesures de l'environnement par des moyens de télédétection (par ex. le LIDAR) augmentant constamment, leur application au domaine de la mensuration se développe de plus en plus. Après des campagnes de mesures en Suisse liées aux surfaces agricoles utiles et des expériences pilotes dans divers cantons, ce projet tente d'évaluer la qualité de la détermination des limites naturelles dans le contexte d'une mensuration officielle selon les exigences de précision fédérales et cantonales. Des relevés sur le terrain et une comparaison des divers jeux de données constituent l'essentiel du travail. L'évaluation a permis, d'une part, de valider la méthode en ce qui concerne les limites de cours d'eau. D'autre part, elle propose une recommandation concernant la méthode de restitution des limites forestières, en soulignant notamment la nécessité d'interprétation sur le terrain, suivant les cas, par un ingénieur forestier.

Durch die zunehmende Genauigkeit der Umweltvermessung durch Fernerkundung (z.B. LIDAR) wächst deren Anwendungsbereich stetig. Nachdem in der Schweiz Messkampagnen zur Bestimmung der landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie Pilotprojekte in verschiedenen Kantonen durchgeführt wurden, wird im Rahmen dieses Projekts versucht, die Qualität der Bestimmung natürlicher Grenzen im Rahmen einer amtlichen Vermessung gemäss kantonaler und Bundesanforderungen zu beurteilen. Die Vermessung vor Ort sowie Vergleiche zwischen den verschiedenen Datensätzen bilden den Hauptteil der Arbeit. Die Datenauswertung für Flussufer hat eine Bestätigung der Methode ermöglicht. Weiter werden Empfehlungen für das Verfahren zur Digitalisierung von Waldgrenzen vorgeschlagen, wo oft Interpretationen im Feld durch Forstingenieure nötig sind.

Tramite la crescente precisione delle misure dell'ambiente per le liti per esempio l'iter continua ad aumentare suo campo d'applicazione. Troppo che in Svizzera sono state fatte delle campagne di misurazione per definire di superficie utile dell'agricoltura nonché c'è il pilota diversi cantoni nell'ambito di questo progetto non si cerca di giudicare la qualità della determinazione dei confini naturali nel quadro della misurazione ufficiale secondo i requisiti cantonali e della confederazione. La situazione sul terreno nonché i confronti tra i diversi file di dati costituiscono la parte principale del lavoro. Valutazione dei dati sulle rive del fiume ha consentito di fare una conferma dei metodi. Inoltre sono proposte delle raccomandazioni per la procedura di digitalizzazione ai limiti dei boschi dove molto spesso sono necessari delle interpretazioni sul terreno da parte degli ingegneri forestali.

L. Kleiner, J.P. Robra, P.-Y. Gilliéron,
P. Schaer, Ch. Mertina

Contexte

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un mandat d'entreprise de mensuration selon l'OTEMO sur la commune de Monnaz.

Cette mission a été confiée à l'entreprise BBHN SA par l'Office de l'information sur le territoire du Canton de Vaud. Parmi les objets à relever, figuraient les limites naturelles des forêts et cours d'eau [2], [3], [6].

Le plan du registre foncier actuellement en vigueur, se base sur l'ancien relevé ca-

dastral qui a été réalisé en 1890. Pour les limites du cours d'eau «La Morges», les différences entre ce plan et la réalité atteignent par endroit plus de 20 m. La couverture forestière a passablement évolué et la digitalisation du plan officiel n'est, par conséquent, plus représentative de la réalité actuelle.

Dans ce cadre, la technologie laser scanner aérien (LIDAR) a été choisie pour restituer des limites naturelles des cours d'eau et des aires forestières. Dans le périmètre à mesurer, une végétation dense ainsi qu'un terrain accidenté compliquent sérieusement la tâche des géomètres. Le relevé des limites de cours d'eau et des lisières par les méthodes terrestres (GPS ou station totale), s'avère dès lors particulièrement laborieux. D'entente avec le Canton, le bureau BBHN a privilégié cette technologie et a confié le mandat de digitalisation à la société BSF Swissphoto, une entreprise spécialisée dans le traitement de données laser scanner.

L'usage de la technologie LIDAR n'est actuellement pas courant dans le cadre de la mensuration officielle. Toutefois, elle a été engagée dans d'autres réalisations comme la digitalisation des limites de forêts dans le cadre du projet fédéral de lever des surfaces agricoles utiles (SAU). La précision requise pour ces projets était cependant inférieure à celle exigée pour la mensuration officielle. Citons également un projet de relevé de chemins pédestres sur la base de données LIDAR réalisé dans le cadre d'une mensuration officielle des gorges de l'Areuse dans le canton de Neuchâtel [8], [9].

Impliquée dans le développement de technologies LIDAR, l'EPFL a profité de ce projet à Monnaz pour impliquer deux étudiants pendant un semestre afin d'évaluer la qualité du levé des limites naturelles, en étroite collaboration avec le bureau BBHN. Cette évaluation est basée sur les exigences de la mensuration fédérale (OTEMO, [3]) et selon le modèle de données du Canton de Vaud (MD01MOVD, [7]). Elle est constituée de comparaisons entre des levés terrestres de diverses zones considérées comme représenta-

tives pour l'ensemble du périmètre, et les résultats obtenus à partir des données LIDAR¹.

Méthode

D'entente avec le bureau de géomètre et sur proposition des étudiants après une visite sur place, trois zones ont été choisies in situ de manière à évaluer la qualité des limites restituées sur les données LIDAR. Ces zones sont situées près du cours d'eau de la Morges dans des terrains accidentés et à fort couvert végétal. Pour l'occasion, elles ont été équipées de quelques points fixes rattachés au canevas de la mensuration.

Les limites des cours d'eau correspondent au niveau des hautes eaux pour la Morges (limite gauche et droite) et à l'axe des petits cours d'eau (fond du talweg). Ces limites sont facilement interprétables sur le terrain avec quelques nuances lorsque la rivière se trouve dans une zone plus large. Pour les limites forestières, l'aide de l'ingénieur forestier (inspecteur d'arrondissement) s'est avérée nécessaire afin de délimiter l'aire forestière selon les critères contenus dans les bases légales [1], [4], [5].

Une fois ces délimitations effectuées sur le terrain, elles ont été levées à l'aide d'une station totale dans un environnement pas toujours facile d'accès. Ensuite, ces résultats ont été comparés aux restitutions LI-

DAR par superposition dans un logiciel de DAO. Des méthodes d'analyse ont permis de quantifier les écarts entre les courbes et de les comparer aux tolérances de la mensuration.

Comparaison des limites de cours d'eau

La détermination des limites de cours d'eau (fig. 1) à partir des données LIDAR est tout à fait satisfaisante et présente peu d'ambiguïtés, malgré des conditions d'acquisition peu optimales pour le LIDAR (couvert végétal dense, terrains en forte pente). Lors de la classification des points laser, la densité des points au sol est en moyenne de 2 points par mètre carré dans la zone la plus difficile [10].

Sur les deux zones analysées, les écarts atteignent en moyenne des valeurs inférieures aux exigences de précision: 1 m pour des terrains en zone de tolérance NT4 et 50 cm pour des terrains en zone de tolérance NT3 [3]. En effet, les valeurs moyennes des écarts relevées entre la restitution LIDAR et le levé terrestre atteignent 0.3 m sur la zone 1 et 0.74 m sur la zone 2 (figure 2). Les écarts maximaux ont été observés à l'emplacement d'obstacles, comme des troncs tombés dans l'eau, et là où le lit du cours d'eau a naturellement évolué (crue, glissements de terrain, etc.). Ainsi, la limite des hautes eaux peut s'être déplacée de 1 à 2 m dans

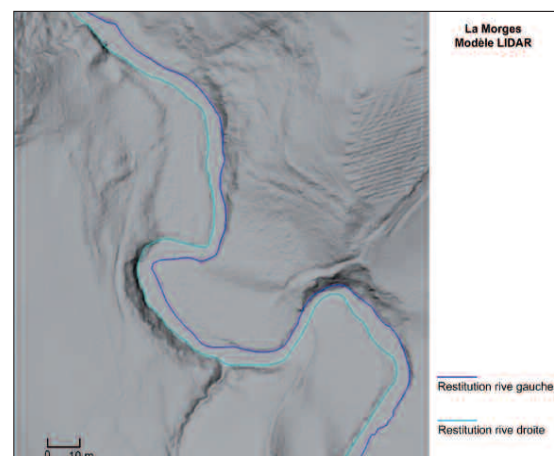


Fig. 1: Représentation de la restitution des limites LIDAR superposée au MNT de maille 0.5 m.

certain secteurs entre la date du vol LIDAR (2008) et le levé sur le terrain (2009). Parmi les difficultés rencontrées, on peut citer les berges sous-creusées: dans ce cas il est difficile d'obtenir des points LIDAR situés sous la partie en surplomb. Les écarts sont naturellement plus faibles lorsque la berge est bien marquée avec un talus franc.

Comparaison des limites de forêts

Le lever des limites forestières par LIDAR reste problématique, principalement pour des raisons d'interprétation. Ces zones présentent des écarts trop importants par

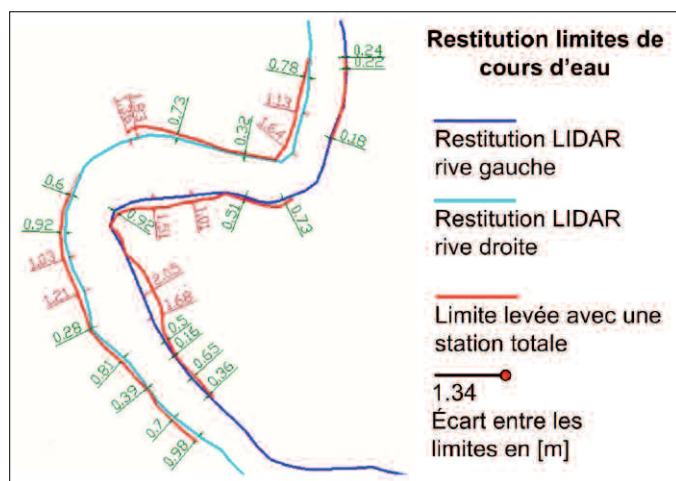


Fig. 2: Représentation des limites de la Morges dans la zone de travail 2.

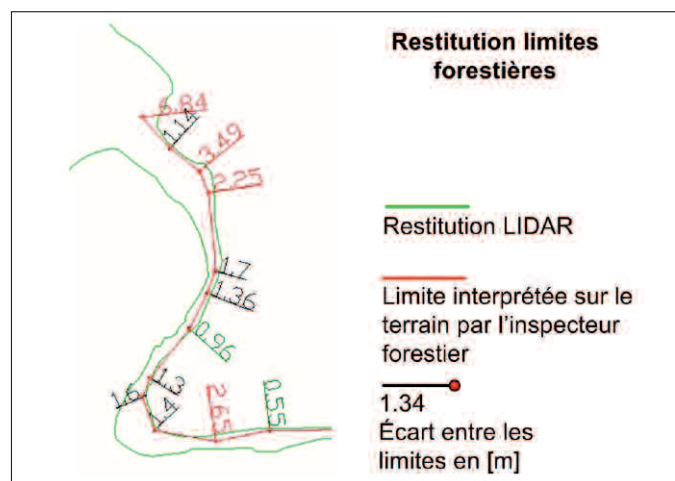


Fig. 3: Représentation des écarts des limites forestières aux droits des points levés sur le terrain et préalablement identifiés par l'inspecteur forestier.



Fig. 4: Représentation des limites forestières sur fond orthophoto.

rapport aux exigences de la mensuration. Les écarts moyens sont de 1.4 m, alors que la tolérance fixe une limite à 1 m. Selon l'interprétation des données, les écarts maximaux (jusqu'à 7 m) sont considérables.

Ces écarts sont probablement dus à la digitalisation à partir des données LIDAR qui restitue la limite forestière en suivant l'alignement des cimes des arbres en bordure de forêt, sans forcément tenir compte de la topographie ou d'indications du parcellaire. De plus la quantité de points utilisés par l'ingénieur forestier pour marquer la limite est bien plus faible que celle de la restitution (figure 4). Le résultat du forestier est donc plus synthétique et reprend l'esprit d'une délimitation de type parcellaire, alors que la limite restituée sur le LIDAR correspond plutôt à une lisière naturelle de la forêt.

Considérations économiques

Le choix de la méthode LIDAR devrait permettre d'effectuer des levés de limites naturelles dans des zones difficiles d'accès et de pouvoir réduire ainsi les coûts de la mensuration. Nous profitons de l'expérience de Monnaz pour évaluer l'impact financier d'une opération de type LIDAR.

L'ensemble de la zone de la commune compte environ 5200 m de lisière, 3400 m de berges de cours d'eau et 2000 m de petits cours d'eau supplémentaires. Le coût d'un lever LIDAR est approximativement de 25 000 CHF, comprenant l'ensemble des coûts du vol, de l'acquisition des données et des restitutions, ainsi que le travail d'intégration à la mensuration. A titre de comparaison, d'après l'estimation faite par le bureau BBHN SA, le lever terrestre classique se chiffrerait à environ 100 000 CHF, les coûts provenant essentiellement de la difficulté des travaux de terrain et de l'accessibilité réduite d'une telle zone. Dans ce contexte, l'utilisation du LIDAR est très économique, en revenant 3 à 4 fois moins chère que les méthodes traditionnelles. Ces économies ont leur importance au vu de la diminution des crédits accordés aux services de mensuration officiels.

Evaluation de la méthode LIDAR pour la restitution de limites

Cette étude a permis d'évaluer la méthode LIDAR dans un contexte donné par la mensuration de limites naturelles. Sans vouloir détailler tous les critères de comparaison des méthodes de lever, on peut formuler quelques éléments de comparaison utiles aux géomètres qui pourraient utiliser ce moyen dans leurs futurs lots de mensuration.

La méthode LIDAR, de part la grande densité des points mesurés, permet de couvrir de larges zones et de restituer des limites naturelles dont l'interprétation n'est pas trop ambiguë. De plus il est possible d'automatiser une grande partie du traitement des données récoltées grâce à la forte redondance des mesures et aux logiciels spécialisés dans la classification des informations. D'un point de vue économique, la méthode permet une forte réduction des coûts de lever comparativement aux travaux traditionnels de mensuration (polygonation, lever terrestre), sans toutefois oublier les compléments éventuels dans les zones difficiles à interpréter.

En mensuration officielle, le lever d'une limite naturelle non définie exactement sur le terrain nécessite une interprétation, résultante de l'expérience des praticiens. L'usage du LIDAR demande un temps d'adaptation pour associer la digitalisation basée sur le LIDAR à l'interprétation faite sur le terrain. On ne peut donc pas généraliser sans autre son emploi et il faut être attentif aux limitations de la méthode.

Par exemple, il est évident que pour des limites forestières touchant des zones constructibles, l'intervention du forestier est obligatoire et que le géomètre lèvera les limites de manière classique et avec exactitude. Ce sera donc essentiellement sur des terrains à faible valeur que la méthode LIDAR peut être acceptée sachant que le concours de l'ingénieur forestier reste indispensable pour calibrer la procédure et valider les résultats.

Concernant les cours d'eau, la méthode est prometteuse car la géométrie saisie par le LIDAR est propice à une interprétation correcte. Toutefois, il subsiste des zones où la limite des hautes eaux ne peut pas être déterminée à partir d'orthophotos ou de données LIDAR. Ces zones devront être déterminées lors d'une visite sur place avec l'aide d'un spécialiste des cours d'eau. A titre d'exemple, on peut citer: des berges de rivières abruptes creusées vers l'intérieur du terrain par le cours d'eau, des zones obstruées par des arbres créant un barrage temporaire et influençant ainsi la montée des eaux.

En conclusion, l'opération de digitalisation sur des données LIDAR devrait s'accompagner d'un cahier des charges précis spécifiant les règles à appliquer suivant le type de limite et les exigences techniques. Des visites sur place ou l'usage de photos terrestres peuvent s'avérer utiles afin de « calibrer » la méthode dans l'optique d'une restitution de qualité. Pour la restitution des limites de forêt, la superposition du parcellaire et d'un modèle numérique de terrain peut aider au positionnement correct de la limite. En effet celle-ci ne se situe pas automatiquement à 2 m des troncs, mais peut aussi être adaptée dans certains cas en fonction des

cassures de terrain ou des limites parcelaires existantes.

Conclusions et recommandations

La plupart des écarts entre limites qui ont été déterminés dans ce travail trouvent leur origine dans l'interprétation et non dans la méthode de lever. L'écart total est en effet donné par la somme due à l'interprétation de la limite et l'écart des imprécisions de la méthode LIDAR (densité de points, précision de position).

Les exigences de précision pour le lever de limites naturelles sont relativement sévères compte tenu de la grande variabilité temporelle et spatiale de ces objets. Les normes en vigueur ne tiennent pas vraiment compte de l'interprétation qu'on fait de la limite sur le terrain, dont l'influence est souvent supérieure à la précision de la méthode de lever.

Selon l'article 29 alinéa 2 de l'OTEMO [3], il est précisé que «dans le cas d'objets que l'on ne peut déterminer avec précision sur le terrain, la précision planimétrique correspond à la précision de détermination.» Ainsi pour les lisières nous pouvons conclure que la précision de détermination avoisine plutôt les 2 m.

Selon l'article 24 alinéa 2 de l'OTEMO [3], «Les régions de très grande étendue où les sols ont une très faible valeur, pour lesquelles il n'est pas nécessaire que la précision et la fiabilité soient en rapport avec les niveaux de tolérances définis, peuvent faire l'objet d'un relevé simplifié si la Direction fédérale des mensurations cadastrales y consent.» Cette distinction s'appliquerait dans des cas de mensuration de zones de pâturages, ou de larges étendues forestières de montagne, par exemple. Le lever des limites grâce à la technologie LIDAR y serait donc tout à fait approprié.

En ce qui concerne les limites de cours d'eau, leur détermination à partir des

données LIDAR a présenté de bons résultats. La méthode a été acceptée par le Service des Eaux, des Sols et de l'Assainissement (SESA) du canton de Vaud qui a vérifié la restitution d'après des orthophotos et une visite in situ. L'avantage de cette méthode est considérable par rapport à un lever classique et permet ainsi un lever rapide et économique des bords des cours d'eau.

La restitution actuelle des limites forestières à partir des données LIDAR n'est par contre pas entièrement satisfaisante. En effet, les limites divergent trop par rapport à l'interprétation du forestier qui définit la forêt par rapport à la loi et à ses connaissances du terrain. La méthode LIDAR restitue une vue instantanée de la masse forestière sans informations préalables de l'historique, du foncier et de la morphologie du terrain. Toutefois, elle représente une aide précieuse pour l'inspecteur forestier qui peut valider certains tracés sur la base d'une visite, sans effectuer de levés.

En conclusion, l'équipe menant ce projet recommande l'utilisation du LIDAR dans de tels cas. Un appui du service de la mensuration reste indispensable afin de calibrer les méthodes utilisées pour une restitution adaptée des limites naturelles.

Remerciements

Nous remercions messieurs Alexandre Hof (responsable section mensuration officielle de l'OIT) et Marc-André Silva (inspecteur d'arrondissement forestier) du canton de Vaud pour leurs conseils lors de la réalisation de ce projet.

¹ livrés sous forme de fichiers DXF au bureau BBHN

Références:

- [1] Loi fédérale sur les forêts du 4 octobre 1991, état au 1^{er} janvier 2008 (LFo, RS 921.0).

- [2] Ordonnance sur la mensuration officielle du 18 novembre 1992, état 1^{er} juillet 2008 (OMO, RS 211.432.2).
- [3] Ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle du 10 juin 1994, état 1^{er} juillet 2008 (OTEMO, RS 211.432.21).
- [4] Loi forestière vaudoise du 19 juin 1996, état au 1^{er} janvier 2009 (LVLFo, RSV 921.01).
- [5] Règlement d'application de la loi forestière vaudoise du 8 mars 2006 (RLVLFo, RSV 921.01.1).
- [6] Loi vaudoise sur le registre foncier, le cadastre et le système d'information sur le territoire du 23 mai 1972 (LVRF, RSV 211.61).
- [7] Modèle de données 2001 de la mensuration officielle vaudoise (MD.01-MO-VD).
- [8] Gachet Gilles et JUNOD Pascal, Apports et perspectives de la technologie LIDAR aéroporté pour la pratique forestière, *Schweiz. Z. Forstwes.* 159 2: 19–30, 2008.
- [9] Gachet Gilles, Analyse et exploitation des données LIDAR aéroportées pour la caractérisation des milieux boisés de la Suisse, thèse EPFL No 4283, mars 2009.
- [10] Kleiner Leïla, Méthodes comparatives de digitalisation de limites naturelles sur des levés par scanner aérien, *Projet de semestre EPFL*, 2008.

L. Kleiner, J.P. Robra, P.-Y. Gilliéron,
P. Schaar
Laboratoire de Topométrie EPFL
Station 18
CH-1015 Lausanne
pierre-yves.gillieron@epfl.ch

Ch. Mertina
Bureau d'ingénieurs BBHN SA
Rue Saint-Louis 1
CH-1110 Morges